

# **ANÁLISE DE PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS CONSTRUÍDAS EM AMBIENTE MARÍTIMO**

**ARMINDO HENRIQUE GARRIDO FERREIRA SERRA**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES**

---

Orientador: Professor Doutor Francisco de Almeida Taveira Pinto

JULHO DE 2012

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus Pais

*“Depois de termos conseguido subir a uma grande montanha, só descobrimos que existem  
ainda mais grandes montanhas para subir”*

*Nelson Mandela*







## **AGRADECIMENTOS**

Quero expressar o meu agradecimento a todas as pessoas e entidades que contribuíram para a elaboração da presente dissertação, nomeadamente:

- Ao Professor Doutor Francisco de Almeida Taveira Pinto, orientador científico desta dissertação, por ter tornado este estudo possível, pelo empenho com que o acompanhou e pela disponibilidade demonstrada a cada instante;
- Ao Professor Doutor Rui Calejo, ao Professor Doutor António Costa e à Professora Doutora Teresa Gonçalves pela disponibilidade e conhecimentos transmitidos;
- Às Águas do Porto e à Administração dos Portos do Douro e Leixões (APDL), em especial ao Engenheiro Pedro Tato pela disponibilidade, partilha de conhecimentos e informação, e apoio demonstrado;
- Aos meus pais pela oportunidade fantástica que me concederam e pelo esforço que se submeteram para tornar este meu caminho possível;
- Às minhas irmãs que me mostraram a importância do percurso académico e por todo o apoio demonstrado;
- Aos meus amigos e colegas de curso, pela amizade, pelo espírito de companheirismo e entreaajuda que sempre revelaram e pela partilha de conhecimentos que possibilitaram ao longo dos anos de curso, em especial ao André Alves, ao António Monteiro, ao Cédric Dos Santos e ao Lino Sousa;

A todos um muito obrigado.





## **RESUMO**

A degradação de estruturas situadas em ambiente marítimo é um fenómeno comum e que pode conduzir a encargos financeiros elevados se for necessário sua reabilitação.

Esta dissertação tem como principal objetivo contribuir para alertar para a influência do ambiente marítimo no processo de degradação de estruturas.

Nesse sentido, neste trabalho, procedeu-se à caracterização do ambiente marítimo e dos mecanismos de degradação a ele associados, evidenciando-se o processo de deterioração de uma estrutura de betão armado.

Elaborou-se também uma análise dos mecanismos de degradação de estruturas de madeira, betão armado e estruturas metálicas, definindo, diferenciando e comparando os vários tipos de danos entre si.

Efetuuou-se, ainda, uma análise de estruturas sujeitas ao ambiente marítimo, com uma vasta recolha de elementos fotográficos.

No decurso desta análise, foram inspecionadas 21 estruturas localizadas numa zona marítima da cidade do Porto.

**PALAVRAS-CHAVE:** ambiente marítimo, degradação, construção, materiais, patologias.



## **ABSTRACT**

The building structures at the seaside are easily corrupted and damaged. To recover those high financial costs are needed.

This paper aims to alert at the seaside influence as a cause for buildings degradation.

Bearing this objective, we analyzed and systematized the seaside environment, its influence and degrading effects. Our focus is on a reinforced concrete structure.

Additionally, we compared the degrading mechanisms in different materials and structures, namely wood, concrete and metal. We compared the effects and damages on these different materials.

We did a research of seaside structures with pictures focusing on the details of the damages and corrupted materials. Along this research we visited 21 seaside structures in Oporto city.

**KEYWORDS:** maritime environment, degradation, construction, materials, pathologies.



## **ÍNDICE GERAL**

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. ENQUADRAMENTO DO TEMA .....	1
1.2. OBJETIVOS PRINCIPAIS .....	2
1.3. METODOLOGIA.....	2
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	3

<b>2. CARACTERIZAÇÃO E INFLUÊNCIA DO AMBIENTE MARÍTIMO</b> .....	5
2.1. INTRODUÇÃO .....	5
2.2. CARATERIZAÇÃO DO AMBIENTE.....	7
2.2.1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA DO MAR.....	8
2.2.2. TEMPERATURA DA ÁGUA .....	10
2.2.3. ALTURA DAS ONDAS .....	11
2.2.4. MARÉS .....	13
2.2.5. NEVOEIRO MARÍTIMO .....	17
2.3. INFLUÊNCIA DO AMBIENTE MARÍTIMO .....	18
2.3.1. ZONAS DE EXPOSIÇÃO .....	18
2.3.2. OUTROS FATORES DE DEGRADAÇÃO .....	19

<b>3. DEGRADAÇÃO DE ESTRUTURAS</b>	21
<b>3.1. INTRODUÇÃO</b>	21
<b>3.2. ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO</b>	21
3.2.1. INTRODUÇÃO	21
3.2.2. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO BETÃO ARMADO COMO MATERIAL ESTRUTURAL	23
3.2.3. FATORES DE DEGRADAÇÃO DE ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO	23
3.2.4. DETERIORAÇÃO DO BETÃO	27
3.2.4.1. Processos mecânicos	27
3.2.4.2. Processos físicos	28
3.2.4.3. Processos químicos	28
3.2.4.4. Processos biológicos	28
3.2.5. A CORROSÃO NO BETÃO ARMADO	29
<b>3.3. ESTRUTURAS DE MADEIRA</b>	32
3.3.1. INTRODUÇÃO	32
3.3.2. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA MADEIRA COMO MATERIAL ESTRUTURAL	33
3.3.3. FATORES DE DEGRADAÇÃO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA	34
3.3.3.1. Danos de origem biológica	36
3.3.3.2. Danos de origem não biológica	42
3.3.3.3. Danos de origem estrutural	43
<b>3.4. ESTRUTURAS METÁLICAS</b>	44
3.4.1. INTRODUÇÃO	44
3.4.2. VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS ESTRUTURAS METÁLICAS COMO MATERIAL ESTRUTURAL	46
3.4.3. FATORES DE DEGRADAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS	46
3.4.4. CORROSÃO	47
3.4.4.1. Corrosão eletroquímica	49

3.4.4.2. Corrosão influenciada por fatores mecânicos.....	51
3.4.4.3. Meios corrosivos .....	52
<b>4. CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>55</b>
<b>4.1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>55</b>
<b>4.2. DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ZONA EM ESTUDO .....</b>	<b>55</b>
4.2.1. DEFINIÇÃO DA ZONA EM ESTUDO.....	55
4.2.2. CARACTERIZAÇÃO DA ZONA .....	57
4.2.2.1. Temperatura.....	57
4.2.2.2. Regime pluviométrico .....	58
4.2.2.3. Regime dos ventos.....	59
4.2.2.4. Nevoeiro.....	60
4.2.2.5. Marés.....	60
<b>4.3. METODOLOGIA DE ANÁLISE .....</b>	<b>61</b>
4.3.1 EDIFÍCIOS .....	61
4.3.2. OUTRAS ESTRUTURAS .....	65
<b>4.4. IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS ANALISADAS .....</b>	<b>65</b>
4.4.1. EDIFÍCIOS .....	66
4.4.2. MOLHES .....	66
4.4.3. ACESSO PEDONAL .....	68
4.4.4. ESTRUTURAS LOCALIZADAS NA PRAIA .....	68
<b>4.5. ANÁLISE DAS ESTRUTURAS.....</b>	<b>69</b>
4.5.1. EDIFÍCIOS .....	69
4.5.2. OUTRAS ESTRUTURAS .....	72
4.5.2.1. Molhe 1 .....	72

4.5.2.2. Molhe 2 .....	74
4.5.2.3. Estrutura 1 localizada na praia.....	79
4.5.2.4. Estrutura 2 localizada na praia.....	80
4.5.2.5. Acesso pedonal .....	82
<b>4.6. SÍNTESE DA ANÁLISE REALIZADA .....</b>	<b>83</b>

## **5. SÍNTESE, CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....**

**87**

<b>5.1. SÍNTESE E CONCLUSÕES DA ANÁLISE EFETUADA.....</b>	<b>87</b>
---	-----------

<b>5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....</b>	<b>88</b>
--	-----------

<b>Bibliografia .....</b>	<b>89</b>
---------------------------	-----------

<b>A. ANEXOS .....</b>	<b>95</b>
------------------------	-----------



## **ÍNDICE DE FIGURAS**

### **CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO E INFLUÊNCIA DO AMBIENTE MARÍTIMO**

Fig. 2.1 – Mecanismo de ataque químico sofrido pelos cimentos com a água do mar .....	5
Fig. 2.2 – Estrutura em betão armado localizada no Mar Norte, [13] .....	7
Fig. 2.3 – Diferentes zonas de exposição marítima, adaptado de [15] .....	8
Fig. 2.4 - Constituição da água dos oceanos .....	8
Fig. 2.5 – Distribuição do conteúdo de sais da água do mar (g/l) .....	10
Fig. 2.6 - Influência das diferentes zonas climáticas e de maré sobre o desempenho das estruturas marítimas, [6] .....	11
Fig. 2.7 – Área de geração das ondas marítimas [21] .....	12
Fig. 2.8 - Altura da onda em função da velocidade do vento e do comprimento de água sobre o qual o vento sopra, adaptado de [22] .....	12
Fig. 2.9 – Órbitas das partículas nas ondas [20] .....	13
Fig. 2.10 - Diâmetros médios do Sol, Terra e Lua, adaptado de [23] .....	14
Fig. 2.11 – Períodos de preia-mar e baixa-mar, adaptado de [23] .....	14
Fig. 2.12 - Níveis da Maré e Planos de Referência, [23] .....	16
Fig. 2.13 – Distribuição do cloreto de sódio em função da distância à costa, adaptado de [14] .....	17
Fig. 2.14 - Desenho esquemático da dependência da concentração de sal em função da velocidade do vento, adaptado de [24] .....	18
Fig. 2.15 – Zonas de exposição e mecanismos de deterioração, adaptado de [9] .....	18

### **CAPÍTULO 3 – DEGRADAÇÃO DE ESTRUTURAS**

Fig. 3.1 - Pormenor da degradação de um edifício realizado em betão armado [36] .....	21
Fig. 3.2 - Conceitos de durabilidade e desempenho de uma estrutura de betão armado e suas interligações, adaptado de [38] .....	22
Fig. 3.3 - Localização dos danos em elementos de betão, adaptado de [40] .....	24

Fig. 3.4 - Origem das patologias das estruturas de betão armado, adaptado de [39] .....	24
Fig. 3.5 - Processos de deterioração do betão, adaptado de [39].....	25
Fig. 3.6 - Processos de corrosão das armaduras, adaptado de [39].....	25
Fig. 3.7 - Causas da fissuração do betão, [38].....	27
Fig. 3.8 - Idades do betão para possível aparecimento de fissuras com várias causas, [41].....	27
Fig. 3.9 - Principais reações responsáveis pela deterioração do betão, [41].....	28
Fig. 3.10 - Avanço da frente de carbonatação e suas consequências, adaptado de [43] .....	30
Fig. 3.11 - Tipos de corrosão em armaduras, [42].....	30
Fig. 3.12 - Corrosão localizada em armaduras causada por cloretos, adaptado de [44] .....	31
Fig. 3.13 - Fissuração na corrosão sob tensão, [38].....	31
Fig. 3.14 - Estragos provocados pela corrosão, [34] .....	32
Fig. 3.15 - Pormenor de ligações de uma estrutura de madeira [46] .....	33
Fig. 3.16 - Podridão castanha, [49].....	36
Fig. 3.17 - Podridão branca, [49] .....	36
Fig. 3.18 - Valores estimados de produção de estruturas de aço para construção em Portugal entre 2002 e 2010, [50].....	44
Fig. 3.19 - Produção total de aço de alguns países europeus em 2008, [50].....	45
Fig. 3.20 - Origem das patologias das estruturas metálicas, adaptado de [51] .....	46
Fig. 3.21 - Patologias relativas ao material, adaptado de [51] .....	47
Fig. 3.22 - Meios corrosivos, adaptado de [52] .....	52

#### CAPÍTULO 4 – CASO DE ESTUDO

Fig. 4.1 - Localização da zona em estudo, [59].....	56
Fig. 4.2 - Vista geral da zona em estudo (fotografia do autor) .....	56
Fig. 4.3 - Vista geral 1 das estruturas estudadas, [60] .....	56
Fig. 4.4 - Vista geral 2 das estruturas estudadas, [61] .....	56

Fig. 4.5 - Normais da temperatura mínima e máxima do ar na cidade do Porto, [64] .....	58
Fig. 4.6 - Normais dos valores da precipitação diária, [64] .....	58
Fig. 4.7 - Edifício 1 devoluto (fotografia do autor).....	61
Fig. 4.8 - Edifício 2 devoluto (fotografia do autor).....	61
Fig. 4.9 - Edifício 1 em construção (fotografia do autor) .....	61
Fig. 4.10 - Edifício 2 em construção (fotografia do autor) .....	61
Fig. 4.11 - Ficha de Avaliação Tipo .....	62
Fig. 4.12 - Ficha de Avaliação - Informação Geral .....	63
Fig. 4.13 - Ficha de Avaliação – Caracterização .....	64
Fig. 4.14 - Identificação das estruturas estudadas, [59] .....	66
Fig. 4.15 - Edifícios estudados 1 (fotografia do autor).....	66
Fig. 4.16 - Edifícios estudados 2 (fotografia do autor).....	66
Fig. 4.17 - Vista geral do Molhe 1 (fotografia do autor) .....	67
Fig. 4.18 - Atividade lúdica habitual no Molhe 1 (fotografia do autor) .....	67
Fig. 4.19 - Vista aérea do Molhe 2, [68] .....	68
Fig. 4.20 - Vista geral do Molhe 2 (fotografia do autor) .....	68
Fig. 4.21 - Acesso pedonal em estudo (fotografia do autor) .....	68
Fig. 4.22 - Estrutura localizada na praia 1 (fotografia do autor) .....	69
Fig. 4.23 - Estrutura localizada na praia 2 (fotografia do autor) .....	69
Fig. 4.24 - Gráfico comparativo do número de tipo de anomalias encontradas.....	70
Fig. 4.25 - Mancha de humidade, E3.....	71
Fig. 4.26 - Mancha de humidade, E16.....	71
Fig. 4.27 - Escorrência, E4.....	71
Fig. 4.28 - Manchas de oxidação, E2 .....	71
Fig. 4.29 - Manchas de oxidação, E12.....	71

Fig. 4.30 - Manchas de oxidação, E9 .....	71
Fig. 4.31 - Fendilhação, E1 .....	72
Fig. 4.32 - Fissuração, E13 .....	72
Fig. 4.33 - Fissuração, E16 .....	72
Fig. 4.34 - Corrosão de guarda metálica, E4.....	72
Fig. 4.35 - Corrosão de armadura, E15 .....	72
Fig. 4.36 - Fachada Norte de M1.....	73
Fig. 4.37 - Deterioração do betão de M1 .....	73
Fig. 4.38 - Patologias de M1.....	74
Fig. 4.39 - Agentes biológicos de M1.....	74
Fig. 4.40 - Patologias 2 de M1.....	74
Fig. 4.41 - Deterioração 2 do betão de M1.....	74
Fig. 4.42 - Corte da Estrutura principal do molhe, M2 .....	75
Fig. 4.43 - Tipos de degradação encontrados na cabeça do molhe (estrutura principal).....	75
Fig. 4.44 - Cristalização de sais à superfície.....	76
Fig. 4.45 - Pormenor da cristalização de sais .....	76
Fig. 4.46 - Fachada Sul do M2 .....	77
Fig. 4.47 - Ação da maré sobre M2 .....	77
Fig. 4.48 - Dispositivo de proteção do M2.....	77
Fig. 4.49 - Zona de corrosão 1 .....	78
Fig. 4.50 - Zona de corrosão 2 .....	78
Fig. 4.51 - Zona de corrosão 3 .....	78
Fig. 4.52 - Zona de rotura da guarda metálica .....	78
Fig. 4.53 - Pormenor da zona de rotura.....	78
Fig. 4.54 - Farolim.....	79

Fig. 4.55 - Edifício anexo ao farolim .....	79
Fig. 4.56 - Parte superior do farolim .....	79
Fig. 4.57 - Guardas da janela do edifício anexo ao farolim.....	79
Fig. 4.58 - Pormenor da corrosão da guarda .....	79
Fig. 4.59 - Estrutura 1 localizada na praia.....	79
Fig. 4.60 - Perfil metálico.....	80
Fig. 4.61 - Perfil metálico aparafusado em sapata .....	80
Fig. 4.62 - Pormenor de corrosão 1 .....	80
Fig. 4.63 - Pormenor de corrosão 2 .....	80
Fig. 4.64 - Estrutura inferior do EP2 .....	81
Fig. 4.65 - União 1 dos perfis metálicos ao pilar de betão .....	82
Fig. 4.66 - União 2 dos perfis metálicos ao pilar de betão .....	82
Fig. 4.67 - Corrosão de perfis metálicos .....	82
Fig. 4.68 - Aspeto geral do estado de deterioração do Acesso Pedonal.....	82
Fig. 4.69 - Fissuração do betão .....	83
Fig. 4.70 - Destacamento do betão.....	83
Fig. 4.71 - Rompimento da armadura .....	83



## **ÍNDICE DE QUADROS**

### **CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO E INFLUÊNCIA DO AMBIENTE MARÍTIMO**

Quadro 2.1 – Salinidade de diferentes águas do mar e oceanos, [17] .....	9
Quadro 2.2 - Composição da água do mar, [18] .....	9
Quadro 2.3 – Glossário de termos utilizados no processo de análise e previsão das marés [23] .....	15

### **CAPÍTULO 3 – DEGRADAÇÃO DE ESTRUTURAS**

Quadro 3.1 - Fatores de degradação e ação destes sobre estruturas de betão armado, [39] .....	26
Quadro 3.2 - Classes de risco de aplicação de madeira maciça, [48] .....	35
Quadro 3.3 - Condições de humidade necessárias para o desenvolvimento de bolores e fungos, [39] .....	37
Quadro 3.4 - Xilófagos marinhos, [39] .....	38
Quadro 3.5 - Danos mais comuns de origem biológica, [39] .....	38
Quadro 3.6 - Fatores que provocam a degradação da madeira, [39] .....	43
Quadro 3.7 - Produção de estruturas de aço para construção em Portugal, [50] .....	45
Quadro 3.8 - Formas de corrosão, adaptado de [52] .....	48
Quadro 3.9 - Tipos de corrosão eletroquímica, [39], [52], [53] e [54] .....	49
Quadro 3.10 - Tipos de corrosão influenciada por fatores mecânicos, [39], [52], [55], [56] e [57] .....	51
Quadro 3.11 - Corrosão relativa .....	53

### **CAPÍTULO 4 – CASO DE ESTUDO**

Quadro 4.1 – Estações meteorológicas, [63] .....	59
Quadro 4.2 – Distribuições anuais de frequência e velocidade média para cada rumo, [63] .....	59
Quadro 4.3 – Distribuição mensal do número de dias com nevoeiro [63] .....	60
Quadro 4.4 – Elementos de marés, [65] .....	60
Quadro 4.5 – Tipos de anomalias, [39] .....	65

Quadro 4.6 – Tipos de anomalias registadas.....	70
Quadro 4.7 – Zonas de exposição das estruturas.....	83
Quadro 4.8 – Materiais em que foram identificadas patologias .....	84
Quadro 4.9 – Avaliação das estruturas de betão armado.....	85



## **SÍMBOLOS E ABREVIATURAS**

AP - Acesso Pedonal

B.M. - Baixa-Mar

BMAM. - Baixa-Mar de Águas Mortas

BMAV. - Baixa-Mar de Águas Vivas

BMmin - Baixa-Mar Mínima

E - Edifício

E – Este

EP - Estruturas localizadas na praia

M – Molhe

N - Norte

NE - Nordeste

NW – Noroeste

NM. - Nível Médio

PM. - Preia-Mar

PMAM. - Preia-Mar de Águas Mortas

PMAV. - Preia-Mar de Águas-Vivas

PMmáx. - Preia-Mar Máxima

S – Sul

SW - Sudoeste

W - Oeste

ZH. - Zero Hidrográfico







# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. ENQUADRAMENTO DO TEMA

A maioria da população portuguesa, seguindo a tendência da população mundial, reside na zona costeira portuguesa. O predomínio da atividade económica no litoral levou à fixação da população e ao consequente aumento da construção nesta zona. Justifica-se assim o grande número de estruturas como edifícios, pontes, viadutos e portos, situadas junto à costa, numa zona onde é sentida a influência da proximidade do mar e onde a degradação dessas estruturas é mais acentuada.

A construção e a reabilitação de estruturas em ambiente marítimo exigem um grande investimento a nível nacional, sendo os encargos financeiros com a reparação e manutenção, parte substancial das verbas destinadas ao setor da construção. Estima-se que cerca de 50% das verbas reservadas a este setor, na Europa, sejam utilizadas na reparação de estruturas deterioradas.

Com a atual crise económica, a rentabilização de custos em obras de reabilitação é uma necessidade obrigatória. Nesse sentido é necessária uma maior compreensão dos mecanismos de deterioração das estruturas. O estudo do comportamento das construções localizadas em ambiente marítimo torna-se assim bastante importante para o país, sendo essencial compreender o comportamento das estruturas e o efeito dos fatores de degradação deste tipo de ambiente na durabilidade das mesmas.

Larry Masters afirmou que “Nenhum material é por si próprio durável; é a interação entre o material e o ambiente a que está exposto que determina a sua durabilidade”, [1]. É assim indispensável conhecer as interações entre o ambiente e o material para se otimizar o período de vida útil das estruturas.

Reforça-se, desta forma, a ideia da necessidade de compreensão dos mecanismos de deterioração característicos do ambiente marítimo e da forma como estes vão afetar o comportamento dos materiais. A escassez de conhecimento destes mecanismos e a necessidade de construções com durabilidade adequada, expressa por uma resistência às ações ambientais que leve a maiores períodos de vida útil, conduziu a um elevado esforço de investigação nas últimas décadas principalmente em estruturas de betão armado.

O ambiente marítimo constitui um dos meios de exposição mais hostis do planeta. Esta extrema agressividade conduz a graves repercussões na durabilidade das estruturas, caso não sejam adotadas medidas de proteção adequadas. Os materiais de construção degradam-se quando expostos às ações agressivas do meio ambiente provocando danos de diversa natureza nas estruturas. Este aspeto tem sido verificado pelo grande número de construções que apresentam deterioração precoce nos últimos anos.

Em Portugal verificou-se, nas últimas décadas, uma explosão construtiva que se traduziu em novos edifícios, vias de comunicação e obras de arte. Porém, verifica-se que a manutenção e a reabilitação dos mesmos é ainda limitada. Assiste-se, sobretudo, no campo habitacional, a uma degradação e mesmo abandono de zonas residenciais de excelência.

Assim sendo, este trabalho tem por objetivo efetuar uma caracterização da imagem das estruturas em ambiente marítimo, explorando as peculiaridades do ambiente e respetivos mecanismos de deterioração nos principais materiais de construção.

## **1.2. OBJETIVOS PRINCIPAIS**

O presente trabalho insere-se no âmbito da análise dos mecanismos de deterioração de estruturas sujeitas à ação do ambiente marítimo.

A motivação para abordar este tema surgiu da necessidade de compreensão da especial agressividade do ambiente marítimo nas estruturas de construção civil.

Os objetivos principais deste trabalho são, deste modo, os seguintes:

- Analisar as características peculiares do ambiente marítimo, compreendendo a especial agressividade destas nas estruturas;
- Identificar os processos e respetivas causas de degradação dos principais materiais utilizados na construção;
- Avaliação de casos reais, obtendo uma imagem do estado de degradação das estruturas da cidade do Porto situadas numa zona particular da sua zona marítima.

## **1.3. METODOLOGIA**

A opção pelo tema da presente dissertação justifica-se pelo progressivo interesse nacional e internacional na conservação de estruturas e pela importância de compreensão dos efeitos do ambiente marítimo nas construções.

Como já foi referido, as construções em ambiente marítimo representam um investimento considerável na economia de cada país. Num período economicamente difícil como o que vivemos, é importante a rentabilização dos fundos destinados às reabilitações. Para a desejável rentabilização é necessário um conhecimento de todo o processo de deterioração das estruturas.

A primeira fase de trabalho consistiu numa basta recolha de informação sobre o “estado de arte” e numa revisão bibliográfica acerca quer do ambiente marítimo, quer dos principais materiais de construção e seus mecanismos de deterioração. Com o auxílio da informação reunida, foi possível proceder a uma caracterização do ambiente marítimo e dos mecanismos de degradação associados a este numa estrutura de betão armado.

De seguida, ainda com o suporte da bibliografia recolhida, foi elaborada uma análise geral da degradação de estruturas de madeira, betão armado e estruturas metálicas. Esta análise procurou englobar, diferenciar e comparar todos os danos possíveis nas respetivas estruturas, evidenciando sempre os danos associados ao próprio material e ao ambiente que o rodeia.

Numa segunda fase, foram efetuadas várias visitas ao local em estudo. A primeira visita, além dum contato inicial com o local, potenciou uma idealização da metodologia de análise. Com as perceções adquiridas na mesma e com o recurso a bibliografia especializada elaborou-se uma ficha de avaliação

tipo das habitações. As restantes visitas ao local serviram para preenchimento das fichas de avaliação e para uma basta recolha fotográfica das estruturas deterioradas.

Com a informação recolhida quer em campo quer bibliograficamente foi possível iniciar a abordagem do caso de estudo prático.

A par destes processos, existiu sempre um contato direto com profissionais com experiência em reabilitação e em estruturas marítimas que além de facultarem material e informações bastante úteis proporcionaram uma consciência adicional destas temáticas.

#### 1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho de dissertação desenvolve-se em cinco Capítulos fundamentais:

- **Capítulo 1:** *Introdução* – exposição formal da dissertação, fazendo referência ao contexto temático e aos objetivos que se pretendem alcançar, assim como à própria estruturação do trabalho;
- **Capítulo 2:** *Caracterização e Influência do Ambiente Marítimo* – descrição do ambiente marítimo e dos elementos que o caracterizam. Distinção dos fatores de degradação associados a este meio numa estrutura de betão armado;
- **Capítulo 3:** *Degradação de Estruturas* – Análise geral de estruturas metálicas, de betão armado e de estruturas de madeira descrevendo-se os processos de degradação relativos ao próprio material com distinção para os processos associados ao ambiente marítimo. Definem-se os vários tipos de danos diferenciando-os e comparando-os entre si;
- **Capítulo 4:** *Caso de Estudo* – Definição e caracterização da zona e das estruturas em análise. Apresentação da metodologia utilizada no estudo desenvolvido e execução de uma ficha de avaliação de edifícios. Análise das estruturas em estudo e investigação de danos e mecanismos de deterioração destas.
- **Capítulo 5:** *Conclusão* – Síntese das principais ideias a reter do presente trabalho, sugerindo-se ideias para futuros desenvolvimentos relacionados com os temas abordados.

O documento finda com uma secção de “Anexos” em que são reunidos dados de apoio às análises efetuadas ao longo do desenvolvimento da análise efetuada.





## 2

## CARACTERIZAÇÃO E INFLUÊNCIA DO AMBIENTE MARÍTIMO

### 2.1. INTRODUÇÃO

O ambiente marítimo possui uma série de características que o torna um dos mais agressivos para as estruturas da construção civil. Os múltiplos agentes agressivos existentes, quer de origem física, química ou biológica, e a sua interligação fazem deste tipo de ambiente uma ameaça para qualquer material. É assim necessário uma cautelosa consideração na sua caracterização quando estão em causa construções sobre o mar ou numa faixa costeira onde o efeito hostil deste ambiente ainda é sentido.

As estruturas localizadas em ambientes marítimos são para além das habitações construídas junto à linha costeira, estruturas marítimas que envolvem “engenharia civil pesada” e enormes investimentos. Estas estruturas são maioritariamente construídas com betão e aço, e por este motivo, este Capítulo irá distinguir o comportamento destes dois materiais em ambiente marítimo.

Há já muitos anos que a aplicação destes materiais neste tipo de ambiente, tem sido motivo de preocupação e de estudos. Louis Vicat (1857) com grande influência na evolução do betão armado, pesquisou a influência do mar na deterioração de ligantes hidráulicos, [2]. No início do século passado, Le Châtelier estudou a decomposição dos cimentos na água do mar, defendendo o mecanismo de ataque químico representado na Figura 2.1, [3].

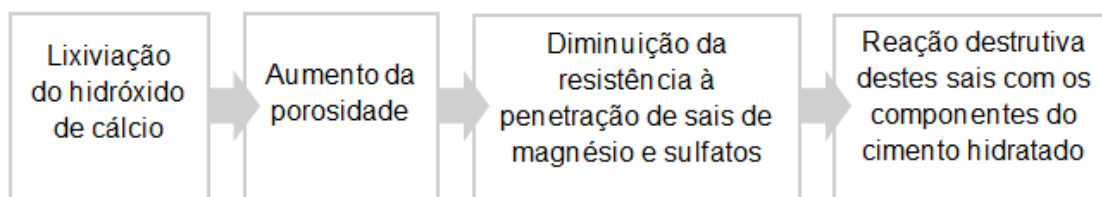


Fig. 2.1 - Mecanismo de ataque químico sofrido pelos cimentos com a água do mar

Estudos sobre o comportamento a longo prazo de argamassas e betões sujeitos à água do mar, realizados por Gjorv,[4], Metha e Haynes, [5], revelaram que os referidos materiais são vulneráveis a ataques dos componentes da água do mar. No entanto, os provetes mais compactos, com misturas mais ricas em cimento mostram um bom comportamento ao contrário das misturas mais pobres que sofreram uma deterioração significativa. Foi assim concluído que a durabilidade de betões e argamassas em contacto com a água do mar é mais influenciada pela permeabilidade do que pela

composição do cimento. Betões mais permeáveis podem assim deteriorar-se através de ataques químicos resultantes do contacto com os componentes da água do mar. Contudo, o problema mais grave dos ambientes marítimos é a corrosão das armaduras.

No início do século XX, Metha. [6], após o estudo da degradação das estacas do cais do porto de Los Angeles, concluiu que as deteriorações observadas, na zona da maré, eram consequência da corrosão das armaduras.

Num outro estudo sobre o desempenho de estruturas portuárias de betão armado na costa Norueguesa, realizado em meados do século passado, Gjorv, [7], aponta que a maioria das obras inspecionadas possuía deterioração por corrosão das armaduras e que cerca de 80 das mais de 320 pontes inspecionadas possuíam deterioração causada também pela mesma causa.

O calor, característico de alguns ambientes marítimos, é um catalisador da corrosão das armaduras, exemplo disso é o comportamento das estruturas de betão armado localizadas no Médio Oriente. Ao analisar as estruturas situadas na costa da região do Golfo, Normand, [8], concluiu que grande parte destas estavam deterioradas graças à corrosão das armaduras e que esta deterioração ocorria 3 a 10 anos após a construção das obras.

Outro exemplo desse fenómeno é um canal com 40km localizado na Arábia Saudita, em que 2 a 3 anos após a sua construção, a estrutura já possuía uma forte deterioração por corrosão das armaduras, existindo alguns varões corroídos em mais de 25% da sua secção. Em 1986, um túnel construído no Dubai com 11 anos de vida útil, teve também todo ele de ser reparado, custando esta operação mais do dobro do custo de construção, [9].

Em Portugal, existem vários casos de degradação de estruturas em ambiente marítimo, mas poucos são os publicados. Um dos casos publicados são as docas dos Estaleiros Navais da Lisnave, na Mitrena em Setúbal. O estaleiro é constituído por três docas construídas durante o período de 1973 a 1975. Cerca de 4 anos após a construção das docas começaram a surgir indícios de deterioração acentuada nas paredes por corrosão das armaduras. Em 1984, devido ao grande ritmo de deterioração, foi feita uma primeira intervenção. Em 1991 já tinha sido reparada uma área total de 23.400 m<sup>2</sup> de paredes de duas docas do estaleiro, [10]. Matos, [11], dá um outro exemplo português, no porto de Leixões numa obra com mais de 25 anos de vida útil onde foram encontradas zonas deterioradas por corrosão das armaduras.

A deterioração das estruturas, na grande maioria dos casos mencionados, foi atribuída a deficiências de execução e/ou projeto, estando estas deficiências associadas a especificações inadequadas, relativas à composição do betão de recobrimento das armaduras, e a processos de colocação, compactação e cura do betão. Uma das causas da degradação das estruturas de betão armado é o menosprezo das ações ambientais, visto que é dada muito maior importância a aspetos relacionados com a resistência mecânica do que aos aspetos associados às ações agressivas do meio ambiente.

Como é sabido, as estruturas de betão armado são constituídas por armaduras e produtos da pasta de cimento hidratada, que são elementos que podem provocar deterioração se substâncias agressivas penetrarem para o interior do betão. Isto faz da permeabilidade a característica mais importante para a durabilidade do betão, [9].

O betão armado, apresentando requisitos de qualidade adequados, é um material com uma ótima durabilidade, existindo bastantes casos de um bom comportamento deste material aos agentes agressivos do ambiente marítimo. Prova disso é a utilização do betão armado em estruturas projetadas para uma vida útil superior a 100 anos como plataformas de petróleo, túneis e pontes.

A Plataforma flutuante de petróleo Troll, Figura 2.2, localizada no Mar do Norte é a maior plataforma de petróleo do mundo e foi construída em betão armado. Inaugurada em 1995, utilizou 245000 m<sup>3</sup> cúbicos de betão e 100000 t de aço, [12].



Fig. 2.2 - Estrutura em betão armado localizada no Mar Norte, [13]

No presente Capítulo além de ser efetuada uma caracterização do ambiente marítimo, foi efetuada uma divisão por zonas de exposição, procurando-se perceber quais as particularidades associadas a este ambiente que estão na origem da degradação de algumas estruturas.

## **2.2. CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE**

O ambiente marítimo é considerado o ambiente que abrange as áreas influenciadas pela proximidade ao oceano, incluindo as zonas costeiras. A zona costeira afeta ao ambiente marítimo atinge normalmente cerca de 10 km da linha da costa, mas esta distância pode, por vezes, ser 10 vezes superior, dependendo da situação meteorológica que se registar.

O ambiente marítimo pode ser caracterizado por, [14]:

- Composição química da água do mar;
- Temperatura da água;
- Altura das ondas;
- Marés;
- Nevoeiro marítimo.

Este pode também ser dividido em 4 zonas distintas, dependendo da posição relativamente ao nível médio da água do mar, ou seja, [15]:

- Zona atmosférica marítima;
- Zona de rebentação;
- Zona entre marés;
- Zona submersa.

As diferentes exposições marítimas estão representadas na Figura 2.3.

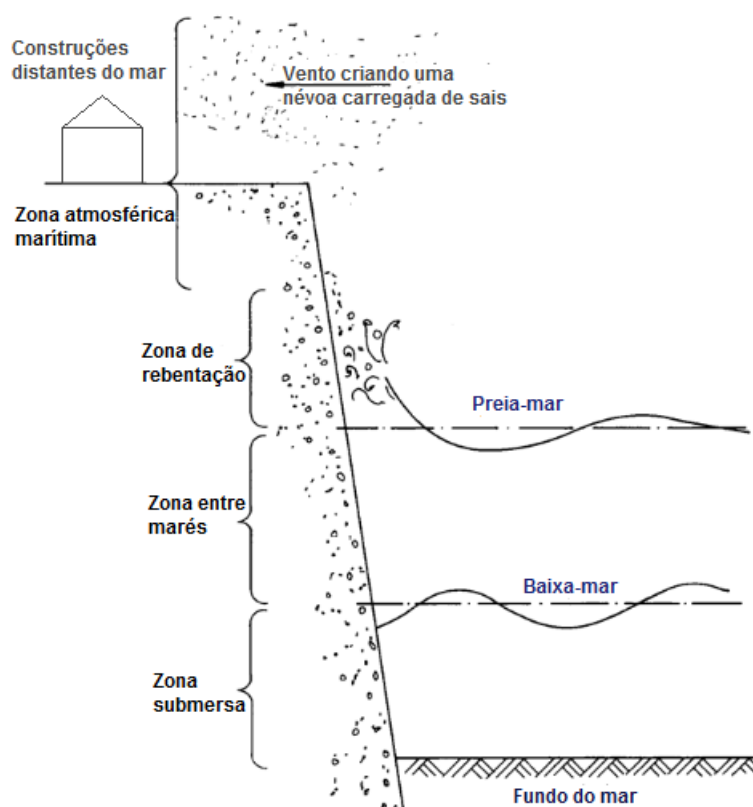


Fig. 2.3 - Diferentes zonas de exposição marítima, adaptado de [15]

### 2.2.1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA DO MAR

Grande parte da hostilidade característica dos ambientes marítimos nas estruturas da construção civil deve-se à imensa quantidade de sais dissolvidos na água do mar que geram numerosos mecanismos de deterioração principalmente para as estruturas de betão armado.

A água do mar é constituída por uma porção variável de sólidos e gases. Na Figura 2.4 observa-se que 96,5% da água salgada dos oceanos é constituída por água e 3,5% por substâncias dissolvidas que incluem sais inorgânicos, compostos orgânicos provenientes dos organismos marinhos e gases dissolvidos, [16].

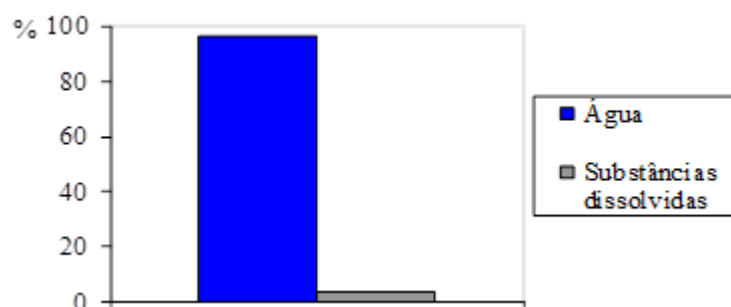


Fig. 2.4 – Constituição da água dos oceanos

A maioria do material dissolvido é constituída por sais inorgânicos. No Quadro 2.1 estão representados os valores de salinidade total de referência para mares e oceanos.

Quadro 2.1 - Salinidade de diferentes águas do mar e oceanos, [17]

Salinidade (g/L)	
Mar Báltico	3 a 8
Mar Branco	26,0 a 29,7
Mar Cáspio	126,7 a 185
Mar Mediterrâneo	38,4 a 41,2
Mar Morto	192,2 a 260
Mar Negro	18,3 a 22,2
Mar Vermelho	50,8 a 58,5
Oceano Atlântico	33,5 a 37,4
Oceano Índico	35,5 a 36,7
Oceano Pacífico	34,5 a 36,9

A salinidade nos oceanos ronda em média os 35g/L. As diferenças de salinidade devem-se principalmente à dinâmica entre a evaporação e a precipitação. As regiões tropicais, onde a evaporação é elevada, possuem os maiores valores de salinidade, por sua vez os valores inferiores verificam-se nas zonas temperadas. Nas regiões costeiras a salinidade é mais oscilante registando valores perto de 0 g/L em regiões junto a estuários e 58,5 g/L em zonas como o Mar Vermelho por exemplo, [16].

No Quadro 2.2 é apresentada a composição da água do mar do Atlântico Norte, do Atlântico Sul, bem como a composição média mundial.

Quadro 2.2 – Composição da água do mar, [18]

(g/l)	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
Atlântico Norte	17.8	2.5	0.4	1.5	11.0	0.3
Atlântico Sul	20.5	2.9	0.4	1.3	11.4	0.5
Média Mundial	19.4	2.7	0.4	1.3	10.9	0.4

A água do mar é por norma constituída por 27g/L de cloreto de sódio (NaCl), 3.2 g/L de cloreto de magnésio (MgCl<sub>2</sub>), 2.2g/L de sulfato de magnésio (MgSO<sub>4</sub>) e 1.3 g/L de sulfato de cálcio (CaSO<sub>4</sub>), [19], Figura 2.5.

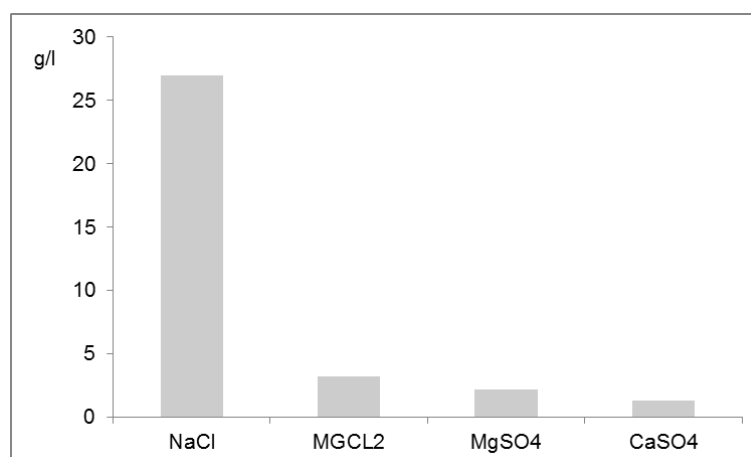


Fig. 2.5 - Distribuição do conteúdo de sais da água do mar (g/l)

O potencial hidrogeniônico (pH) nestes ambientes varia entre 7,5 e 8,4, sendo portanto considerado alcalino, [16].

Os sais de magnésio são os mais gravosos para produtos hidratados da pasta de cimento, enquanto os cloretos são os mais gravosos na corrosão de armaduras. Para além dos sais, pode haver gases dissolvidos e organismos marinhos produtores de ácidos na água do mar.

O oxigénio, que se encontra mais concentrado nos primeiros 20 m de coluna de água, é bastante importante no processo de corrosão de armaduras. A solubilidade do dióxido de carbono atinge por vezes valores mais elevados no meio marinho relativamente ao ar atmosférico, conseguindo baixar o pH da água para valores inferiores a 7 agravando a decomposição de produtos hidratados da pasta de cimento. Algumas bactérias aeróbias produzem ácido sulfúrico a partir do ácido sulfídrico produzido por sua vez por bactérias anaeróbias, baixando assim o pH da água e contribuindo para a destruição da pasta de cimento. Também alguns organismos marinhos segregam ácidos capazes de destruir localmente o betão e corroerem as armaduras, [9].

#### 2.2.2. TEMPERATURA DA ÁGUA

A temperatura da água do mar também possui um forte impacto em processos de degradação. Embora a ação dos sulfatos seja mais prejudicial a temperaturas inferiores, regra geral, o calor funciona como um fator de agravamento, visto constituir uma fonte de energia que acelera o início e a progressão dos mecanismos de deterioração. A velocidade das reações químicas duplica com um aumento de 10°C de temperatura, [6].

A temperatura da água perto da superfície varia entre um mínimo de -2°C (ponto de congelação da água) e um máximo de 30 °C. A temperatura decresce rapidamente à medida que a profundidade aumenta, atingindo um valor estável de cerca de 2 a 5 °C a profundidades entre os 100 e os 1000 m, [14].

A condição de temperatura na zona de rebentação e na zona entre marés é difícil de descrever visto ser uma mistura entre a condição de temperatura no ar e na água. As ondas e os efeitos da maré, juntamente com as diferenças entre a temperatura do ar e a temperatura da água, podem expor algumas partes de uma estrutura a ciclos de aquecimento e arrefecimento, ciclos de congelação e descongelação

e ciclos de molhagem e secagem. O efeito sinérgico destes ciclos é capaz de destruir mesmo o mais forte dos materiais, [14].

As condições de temperatura em ambientes marítimos podem ser divididas em quatro níveis distintos, [6]:

- Frio, com temperaturas de congelamento da água;
- Temperado, com temperaturas anuais médias na volta dos 10-20 °C, chuvas moderadas e raramente com temperaturas de congelamento da água;
- Quente e seco, como os climas dos desertos com temperaturas de verão superiores a 45°C e pouca chuva;
- Quente e húmido, como os climas tropicais com temperaturas médias anuais não superiores a 30°C.

Com esta divisão, o clima marítimo pode ser descrito através do esquema ilustrado na Figura 2.6.

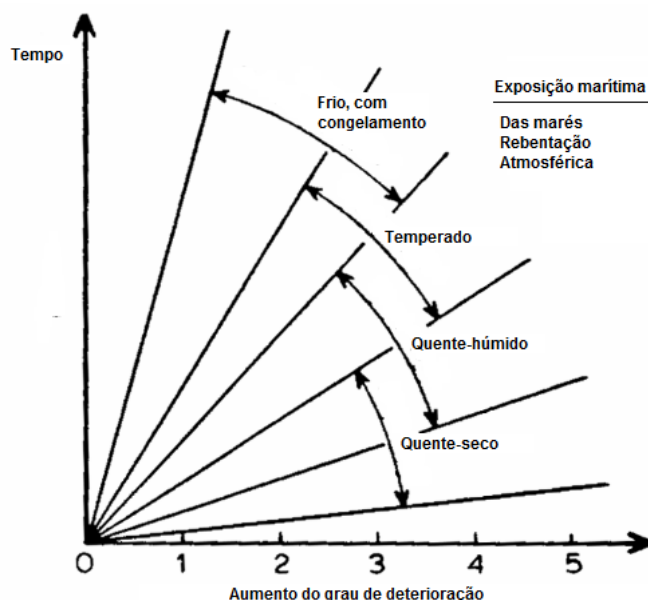


Fig. 2.6 - Influência das diferentes zonas climáticas e de maré sobre o desempenho das estruturas marítimas, [6]

### 2.2.3. ALTURA DAS ONDAS

A generalidade das ondas marítimas são consideradas ondas superficiais e progressivas. Superficiais, por se deslocarem ao longo da superfície marítima, superfície que separa o meio atmosférico do meio hídrico, e progressivas por se moverem na direção da superfície terrestre.

A maioria destas ondas são geradas pelo vento que desloca as moléculas de água da sua posição de equilíbrio. Para readquirirem a sua posição inicial, as partículas de água passam a necessitar de uma força de restauro, sendo as duas principais forças de restauro existentes a força gravitacional exercida pela Terra, e a tensão superficial da água. Este ciclo de deslocamentos e restauros estabelece o movimento oscilatório de forma sinusoidal caraterístico das ondas, [20].

As pequenas ondas geradas vão crescendo progressivamente em altura, comprimento e velocidade com o constante efeito do vento, Figura 2.7.

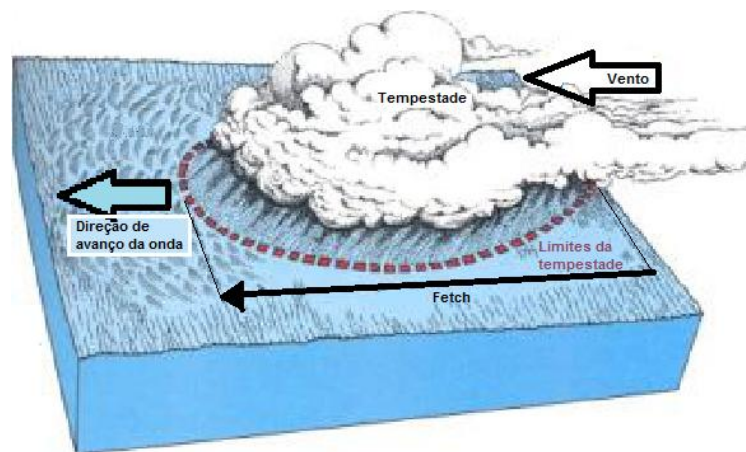


Fig. 2.7- Área de geração das ondas marítimas [21]

As alturas das ondas locais dependem da velocidade do vento e do comprimento de água sobre o qual este sopra na zona em que são geradas (designada por *Fetch*). As previsões das alturas das ondas podem ser obtidas com os dados referidos, através do diagrama apresentado na Figura 2.8, em que a velocidade do vento é introduzida em nós. O nó é uma unidade de velocidade igual a uma milha náutica (1,852 km) por hora. Por sua vez, o comprimento de água sobre o qual o vento sopra é introduzido no diagrama em milhas náuticas. Milha náutica ou milha marítima equivale a 1852 m. Ambas as unidades não integram o Sistema Internacional de Unidades (SI).

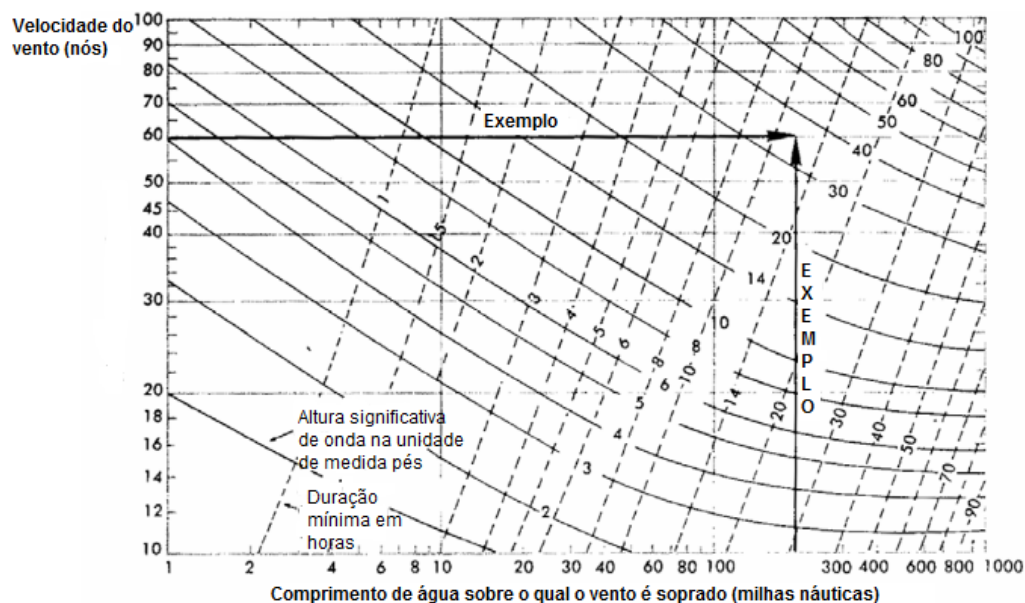


Fig. 2.8- Altura da onda em função da velocidade do vento e do comprimento de água sobre o qual o vento sopra, adaptado de [22]

Quando as ondas se aproximam da superfície terrestre, abandonam as águas profundas passando para águas intermédias e, por último, para águas pouco profundas, iniciando assim uma interação com o fundo do mar cada vez mais intensa.



Como é ilustrado na Figura 2.9, quando as ondas atravessam águas pouco profundas, as órbitas das partículas passam a ter a forma de elipses, aumentando o achatamento das órbitas com a proximidade ao fundo do mar.

A velocidade de propagação da onda passa a ser influenciada pela profundidade da coluna de água. Como esta profundidade diminui com a aproximação à costa, a velocidade da onda vai ser também menor. Para colmatar esta diminuição da velocidade, a altura da onda irá aumentar de forma a conservar o constante ritmo de transmissão de energia aludido, [20].

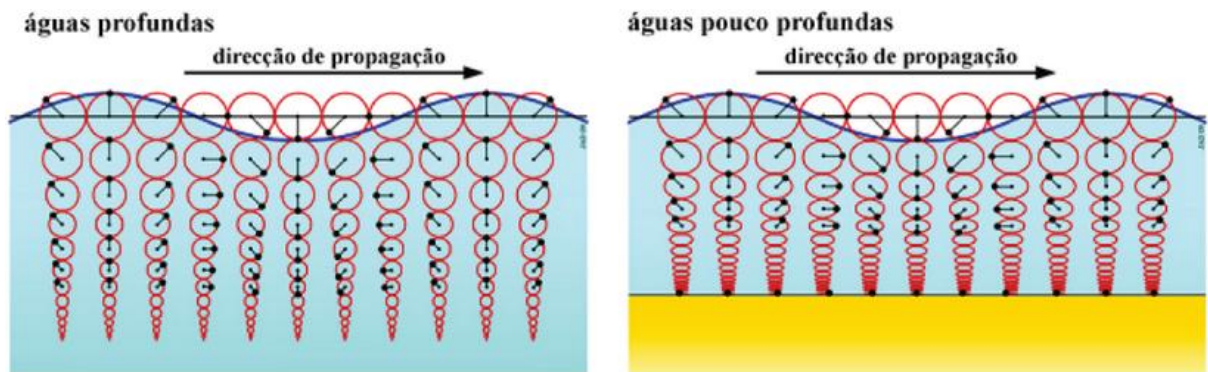


Fig. 2.9 - Órbitas das partículas nas ondas [20]

Na interação da onda com o fundo do mar, esta sofre refração e difração, dissipando alguma energia, designadamente através da remobilização de sedimentos do fundo do mar. Porém, a grande parte de dissipação de energia é processada através da rebentação da onda que por vezes é efetuada contra estruturas costeiras.

As ondas do mar são assim consideradas ondas mecânicas que transportam energia através da água, possuindo grande importância na definição de ações costeiras e constituindo um agente erosivo em potencial.

#### 2.2.4. MARÉS

As marés são causadas pela força da gravidade entre a Lua, o Sol e a Terra que atrai a massa de água e a faz oscilar em função da localização relativa dos 3 astros. Apesar de possuir uma massa muito inferior à do Sol, a Lua exerce uma influência sobre as marés bastante superior, por se encontrar mais próxima da Terra, Figura 2.10.

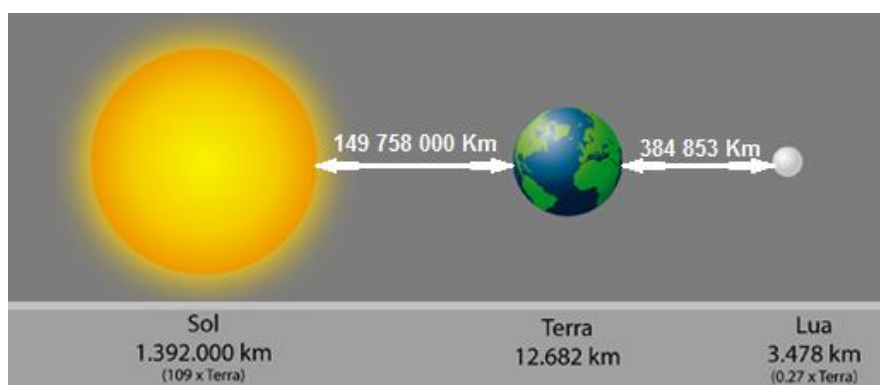


Fig. 2.10 - Diâmetros médios do Sol, Terra e Lua, adaptado de [23]

Genericamente é possível afirmar que as passagens meridianas superiores e inferiores da Lua fazem subir a maré. Desta forma, quando a Lua passa por cima ou por baixo de nós temos preia-mar, Figura 2.11. As preia-mares sucedem-se assim, periodicamente, com um intervalo médio de aproximadamente 12h e 25 m.

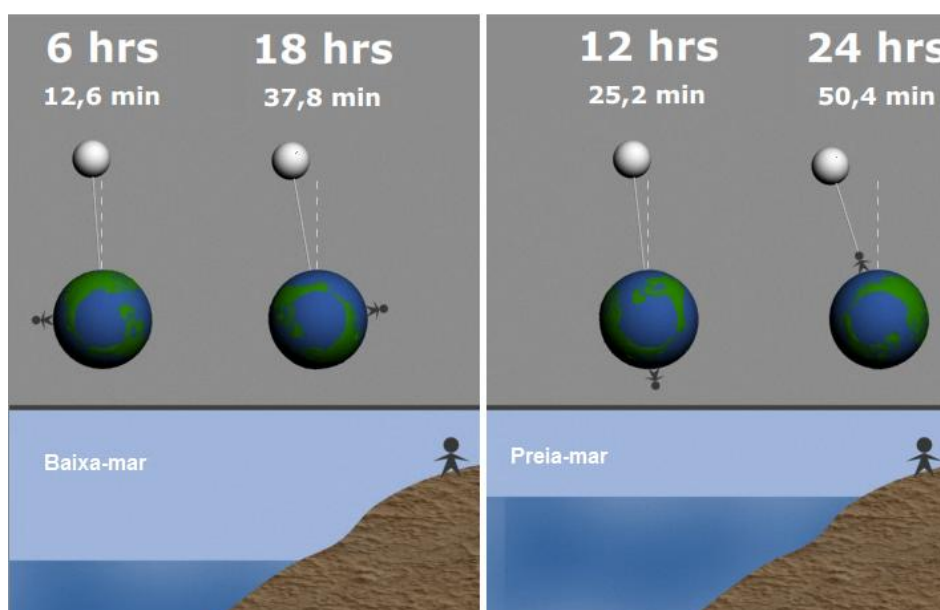


Fig. 2.11- Períodos de preia-mar e baixa-mar, adaptado de [23]

Salienta-se que o nível da água do mar não depende somente da maré astronómica, mas também de outros fatores como a pressão atmosférica, a agitação marítima e os ventos. O fator não astronómico mais influente nas marés é a pressão atmosférica em que as baixas pressões produzem um aumento do nível do mar, e as altas pressões, uma descida no nível das águas, [23].

Como resultado da ação das marés, uma estrutura marítima é exposta, duas vezes por dia, a uma série de intervalos de molhagem e secagem, aquecimento e arrefecimento (devido a diferenças nas temperaturas do ar e da água) e possivelmente a ciclos de congelamento e descongelamento.

A amplitude das marés varia cerca de 0,5 m em alguns locais para 15 m noutros. Nos oceanos é frequentemente muito pequena sendo geralmente inferior a 1m, mas ao aproximarmo-nos de uma costa, o aumento de amplitude das marés sobe para 4 a 5 m, [14].

Na análise e previsão de marés, é necessário considerar alguns níveis de referência vertical, cuja inter-relação se encontra indicada na Figura 2.12.

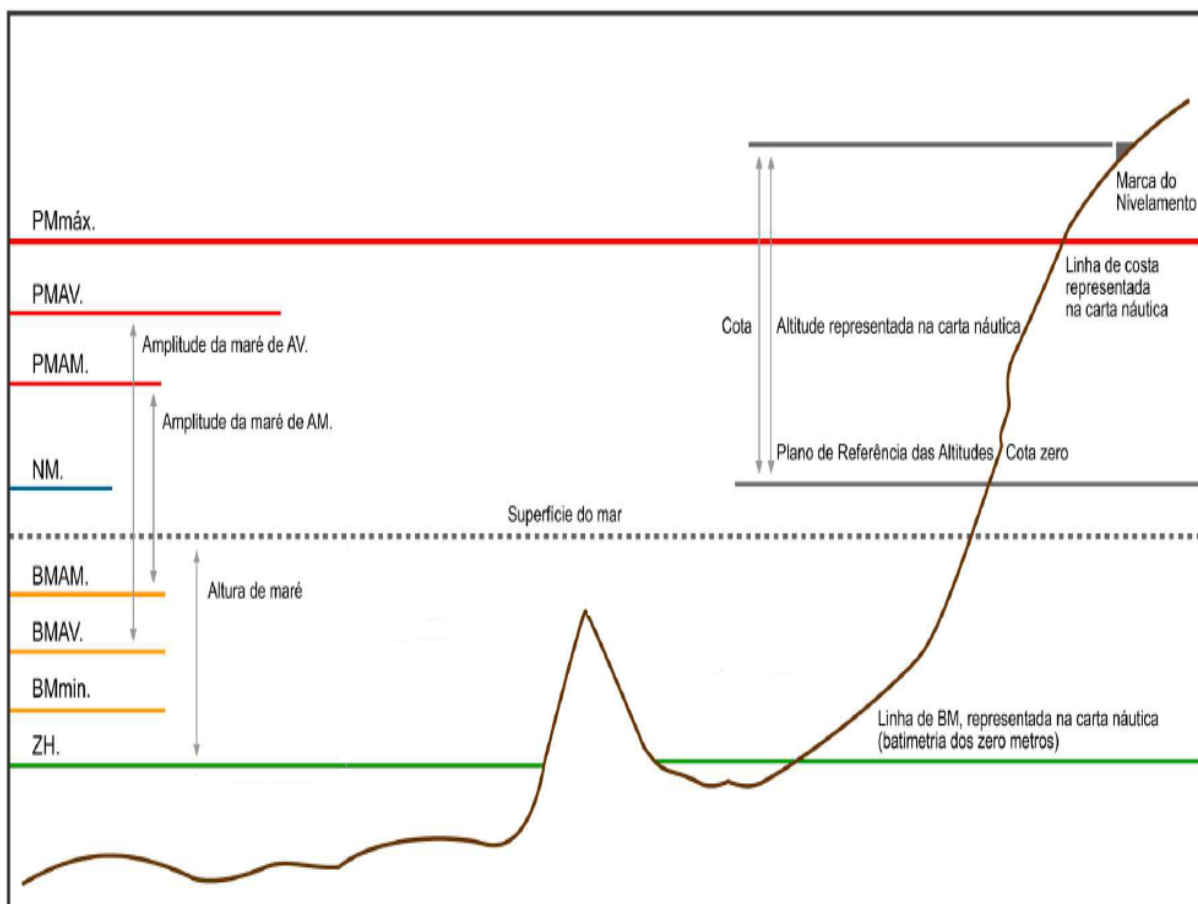


Fig. 2.12 - Níveis da Maré e Planos de Referência, [23]

No Quadro 2.3 estão definidos os termos utilizados no processo de análise e previsão das marés.

Quadro 2.3 - Glossário de termos utilizados no processo de análise e previsão das marés [23]

Sigla	Designação	Definição
BM.	Baixa-Mar	Altura de maré mínima registada após o período de vazante
BMAM.	Baixa-Mar de Águas Mortas	Valor médio, tomado ao longo do ano, das alturas de maré de duas baixa-mares sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando a amplitude de maré é menor (próximo das situações de Quarto Crescente ou Quarto Minguante)
BMAV.	Baixa-Mar de Águas Vivas	Valor médio, tomado ao longo do ano, das alturas de maré de duas baixa-mares sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando a amplitude de maré é maior (próximo das situações de Lua Nova ou Lua Cheia)
BMmin.	Baixa-Mar Mínima	Nível da maré astronómica mais baixa. É a altura de água mínima que se prevê que possa ocorrer devida à maré astronómica
NM.	Nível Médio	Valor médio das alturas horárias da maré, relativamente a um nível de referência fixo (marca de nivelamento), resultante de séries de observações maregráficas de duração variável, de preferência igual ou superior a 19 anos, de forma a englobar pelo menos um ciclo completo de revolução dos nodos da órbita lunar. O nível médio varia de local para local
PM.	Preia-Mar	Altura de maré máxima registada após o período de enchente
PMAM.	Preia-Mar de Águas Mortas	Valor médio, tomado ao longo do ano, das alturas de maré de duas preia-mares sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando a amplitude de maré é menor (próximo das situações de Quarto Crescente ou Quarto Minguante)
PMAV.	Preia-Mar de Águas-Vivas	Valor médio, tomado ao longo do ano, das alturas de maré de duas preia-mares sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando a amplitude de maré é maior (Próximo das situações de Lua Nova ou Lua Cheia)
PMmáx.	Preia-Mar Máxima	Nível da maré astronómica mais alta. É a altura de água máxima que se prevê que possa ocorrer devida à maré astronómica
ZH.	Zero Hidrográfico	Superfície em relação à qual são referidas as previsões de altura de maré que são publicadas nas Tabelas de Marés do Instituto Hidrográfico. Nas cartas portuguesas, o ZH. fica situado abaixo do nível da maré astronómica mais baixa, pelo que as previsões de altura de maré são sempre positivas.
AM.	Águas Mortas	Marés de amplitude mais reduzida que ocorrem próximo das situações de Quarto Crescente ou Quarto Minguante, quando as forças atrativas devidas ao Sol e à Lua se cancelam mutuamente.
AV.	Águas Vivas	Marés de maior amplitude que ocorrem próximo das situações de Lua Nova ou Lua Cheia, quando as forças atrativas devidas ao Sol e à Lua se reforçam mutuamente.

### 2.2.5. NEVOEIRO MARÍTIMO

Quando as ondas rebentam contra uma estrutura ou contra a linha da costa, a água do mar é lançada para o ar e projetada pelo vento. Ventos fortes podem transportar a água do mar e as partículas de sal para longas distâncias em direção ao interior. O sal presente no ar pode possuir a forma de partículas sólidas ou de uma solução salina contendo outros constituintes. A concentração de sal no ar é influenciada por fatores como o vento e a evaporação, e esta é mais baixa nos portos e zonas costeiras do que sobre o mar.

A distância que as partículas salinas podem percorrer depende do tamanho destas partículas e da velocidade e direção do vento. Normalmente, o teor de salinidade atmosférica decresce de uma forma bastante rápida com a distância à linha da costa, no entanto, em regiões secas, onde a precipitação é rara, as partículas mais finas de sal podem viajar várias centenas de quilómetros para o interior, [14]. A Figura 2.13 mostra uma distribuição normal da deposição de cloretos de sódio em função da distância à linha da costa.

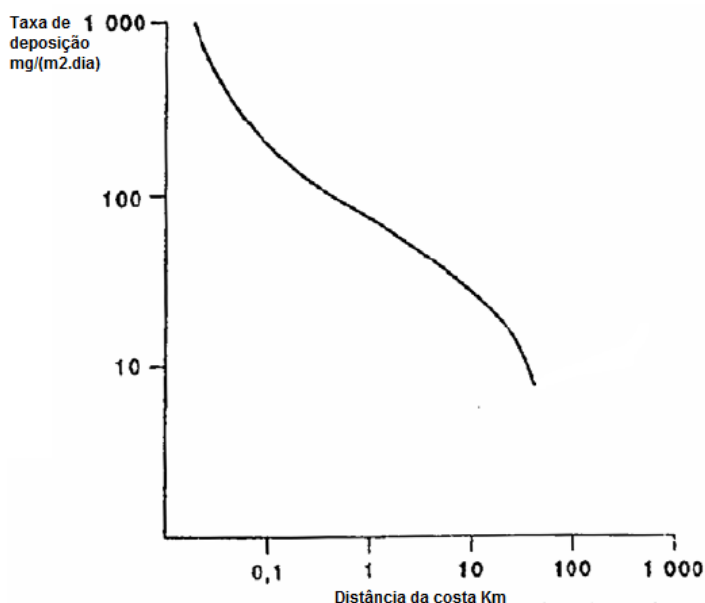


Fig. 2.13 – Distribuição do cloreto de sódio em função da distância à costa, adaptado de [14]

Existe uma relação entre a concentração de sal no ar e a velocidade do vento. Sobre o mar a concentração de sal é quase constante para qualquer velocidade do vento, mas sobre a terra a concentração de sal é muito mais dependente da velocidade do vento sobretudo nas zonas costeiras. A Figura 2.14 mostra a relação entre a velocidade do vento e a concentração de sal, a diferentes distâncias do mar. A distribuição de sal não depende apenas da velocidade do vento, mas também da distância ao mar.

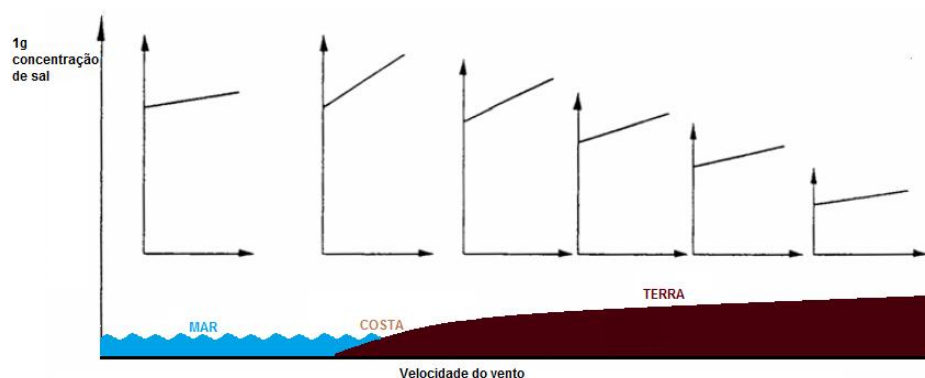


Fig. 2.14 – Desenho esquemático da dependência da concentração de sal em função da velocidade do vento, adaptado de [24]

## 2.3. INFLUÊNCIA DO AMBIENTE MARÍTIMO

Como já foi referido o betão e o aço são inevitavelmente os materiais mais usuais na construção inclusive nas estruturas localizadas em ambiente marítimo. Por este motivo evidenciou-se, neste Subcapítulo, o processo de deterioração de uma estrutura de betão armado em ambiente marítimo.

### 2.3.1. ZONAS DE EXPOSIÇÃO

A intensidade de deterioração das várias ações agressivas existentes no ambiente marítimo depende das zonas de exposição a que as estruturas estão sujeitas. A Figura 2.15 apresenta um exemplo com os vários mecanismos de deterioração de uma estrutura em betão armado consoante a zona de exposição.

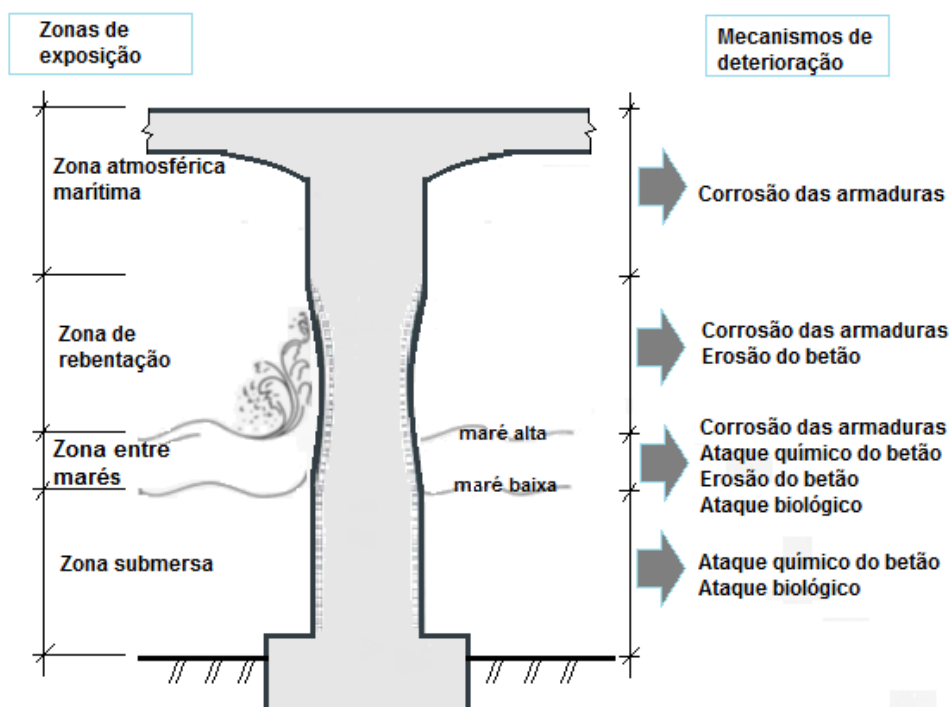


Fig. 2.15 – Zonas de exposição e mecanismos de deterioração, adaptado de [9]

O betão localizado na zona atmosférica, embora não possua contacto direto com a água do mar, encontra-se sujeito à ação dos sais através dos borrifos transportados pelo vento e com origem na zona de rebentação. O principal mecanismo de deterioração nesta zona de exposição, normalmente, bastante afetada, é a corrosão das armaduras por ação dos cloretos que são transportados por via aérea, [25]. Este fenómeno de degradação pode ainda ser agravado se simultaneamente ocorrer a carbonatação do betão que funciona como um catalisador deste processo de corrosão. Esta zona de exposição pode englobar estruturas afastadas da costa, sendo que o grau de agressividade da ação dos sais presentes na atmosfera diminui com o aumento da distância ao mar, [26].

Na zona de rebentação, o betão está sujeito a ciclos de molhagem e secagem pela água do mar, sendo esta situação potenciadora do aumento de velocidade do mecanismo de corrosão das armaduras devido às constantes diferenças de temperatura e humidade, [27]. No caso de a água do mar transportar materiais sólidos, poderá ocorrer a erosão do betão, tornando a superfície deste material mais vulnerável e reduzindo a camada de recobrimento, [9].

A zona entre marés é também uma zona sujeita aos ciclos de molhagem e secagem uma vez que existe alternância entre preia-mar e baixa-mar. Visto que durante grande parte do dia o betão está submerso, este material apresenta-se praticamente saturado durante grande parte do tempo. Este motivo, faz atenuar a corrosão das armaduras mas por outro lado, cria condições para o desenvolvimento do ataque químico e biológico do betão, [28].

Na zona submersa, como o próprio nome sugere, o betão encontra-se saturado, sem acesso a oxigénio, e por este motivo o mecanismo da corrosão é desprezável, [29]. Embora exista um nível de cloretos suficiente para que ocorra a corrosão, a inexistência de oxigénio impossibilita este fenómeno, [30]. Porém, existe a possibilidade de desenvolvimento da corrosão negra, situação não preocupante, visto não provocar reações expansivas significativas no betão nem mesmo a sua fendilhação, [31]. Nestas circunstâncias, as grandes causas de deterioração da estrutura são os ataques químicos ao betão, causados principalmente por iões de magnésio ou sulfato e os ataques biológicos causados por microrganismos, [32].

### 2.3.2. OUTROS FATORES DE DEGRADAÇÃO

Além das condições de exposição, outro dos fatores de degradação característicos do ambiente marítimo é a humidade relativa. A humidade relativa, para além de controlar o transporte de iões agressivos dentro do betão, controla também a resistividade e acesso a oxigénio no betão, [31]. Este fator é um dos principais que afetam a taxa de degradação de uma estrutura de betão armado, [33].

A humidade relativa mais favorável ao fenómeno da corrosão está situada entre os 70 e os 80%. Quando esta atinge valores superiores a 80% a difusão de oxigénio no betão é consideravelmente reduzida. Para valores de humidade relativa inferiores a 60% provavelmente não se verificará corrosão. O mesmo sucede para valores próximos de 100%, situação em que o betão se encontra saturado, [34].

A influência do ambiente marítimo na degradação de estruturas é também exercida através do vento e da exposição solar a que as estruturas estão expostas. Estes são dois fatores por vezes desprezados mas que intervêm na degradação das estruturas.

O vento está sobretudo associado à penetração e ao transporte de sais e agentes agressores. Nos ciclos de molhagem/secagem este fator funciona como um catalisador, contribuindo para a penetração de sais no interior dos materiais, [25]. As zonas desprotegidas, totalmente expostas a mar aberto, apresentam

um teor de cloretos muito superior ao das estruturas mais abrigadas ou na direção dominante do vento, [35].

Quanto à exposição solar, a informação disponível é bastante diminuta, no entanto, sabe-se que a incidência solar interfere na degradação dos materiais. Durante a fase de projeto, ocorrem falhas na consideração dos efeitos climatológicos, como a incidência de luz solar, que vão acelerar o processo corrosivo, [35].

Os fatores de degradação referidos são originários do ambiente, no entanto, existem outros fatores intrínsecos aos materiais (abordado no Capítulo 3) ou às opções arquitetônicas utilizadas que podem contribuir para a degradação das estruturas.



# 3

## DEGRADAÇÃO DE ESTRUTURAS

### 3.1. INTRODUÇÃO

O primeiro passo a dar na intervenção a uma estrutura, com o objetivo de conhecer o seu estado e definir qual o nível de intervenção, é a sua inspeção visual. Antes de se efetuar esta inspeção, devem-se conhecer os processos patológicos característicos dos materiais. Por sua vez, para estudar os processos patológicos do material deve-se conhecer previamente as suas características.

O presente Capítulo analisa de forma genérica a degradação de estruturas de madeira, betão armado e estruturas metálicas.

Para cada material, após uma introdução, em que se pretende efetuar uma primeira abordagem do tema, destacam-se as suas principais vantagens e limitações.

De seguida, apresentam-se as principais causas de deterioração e de danos, enumerando com a ajuda de Figuras e Quadros, as mais importantes e distinguindo-se as causas associadas ao ambiente marítimo.

### 3.2. ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO

#### 3.2.1. INTRODUÇÃO

O maior conhecimento sobre o comportamento e composição do betão bem como dos seus constituintes, assim como o recurso a programas de cálculo automático e a utilização de adjuvantes no fabrico do betão permitiram a progressiva diminuição de secções e de espessuras de recobrimento. Isto fez com que as construções mais recentes ficassem mais suscetíveis a danos relacionados com a proteção das armaduras como a corrosão, Figura 3.1.



Fig. 3.1 - Pormenor da degradação de um edifício realizado em betão armado [36]

Surge assim dois aspetos importantes:

- **Durabilidade:** propriedade que uma estrutura possui quando conserva os requisitos de projeto, em termos de segurança, de funcionalidade e de estética, sem custos adicionais de manutenção, [37];
- **Desempenho:** capacidade em satisfazer os fins para que foi projetada, sob o ponto de vista de segurança, funcionalidade e aspeto geral, [38].

Os fatores que influenciam a durabilidade e o desempenho bem como as suas interligações encontram-se definidos na Figura 3.2.

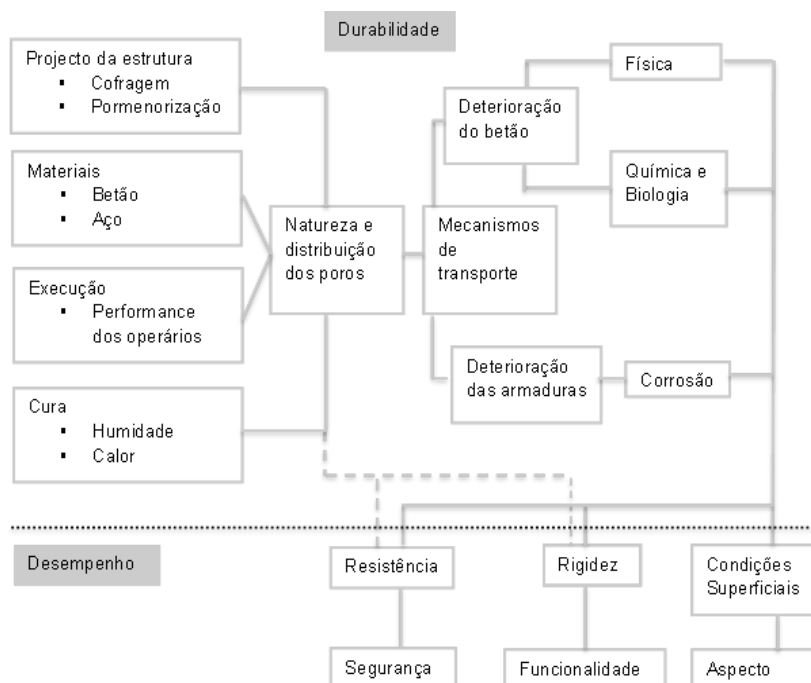


Fig. 3.2 – Conceitos de durabilidade e desempenho de uma estrutura de betão armado e suas interligações, adaptado de [38]

### 3.2.2. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO BETÃO ARMADO COMO MATERIAL ESTRUTURAL

O betão armado tem um campo de aplicação vastíssimo e uma apreciável versatilidade apresentando as seguintes vantagens, [39]:

- Flexibilidade e trabalhabilidade: utilizado em funções estruturais ou arquitetónicas das mais diversas formas e empregue em qualquer sistema estrutural;
- Economia: economia de materiais, de custos de execução e de manutenção;
- Resistência: ao fogo, a esforços de tração e de compressão;
- Rigidez e durabilidade;
- Tradição: facilidade em encontrar os materiais constituintes e mão-de-obra habilitada.

Como principais desvantagens referem-se:

- Baixo índice de resistência por unidade de volume, obrigando a estruturas de grandes dimensões;
- Elevado peso específico;
- Mau comportamento térmico;
- Heterogeneidade: envolvendo muitos materiais na sua produção.

### 3.2.3. FATORES DE DEGRADAÇÃO DE ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO

A origem dos problemas estruturais está relacionada com a falta de capacidade de resistência das estruturas, como por exemplo, [39]:

- Deformação excessiva;
- Assentamentos de apoio;
- Falta de durabilidade das construções;
- Acabamentos defeituosos (ausência de pormenorização);
- Ausência de proteção contra agentes agressivos;
- Falta de manutenção durante o período útil da estrutura.

Estudos realizados em Espanha pela Universidade Politécnica de Madrid constataram que a fase de conceção e projeto das estruturas de betão armado é a responsável pela falta de durabilidade e desempenho da estrutura. Este estudo revelou também que as patologias ocorrem sobretudo em vigas e lajes como se pode constatar pela Figura 3.3, sendo 60% destas patologias fissuras. Os restantes danos encontrados foram a deformação em lajes e vigas de pouca rigidez e a corrosão de armaduras em estruturas localizadas em ambientes agressivos, como é o caso do ambiente marítimo, [40].

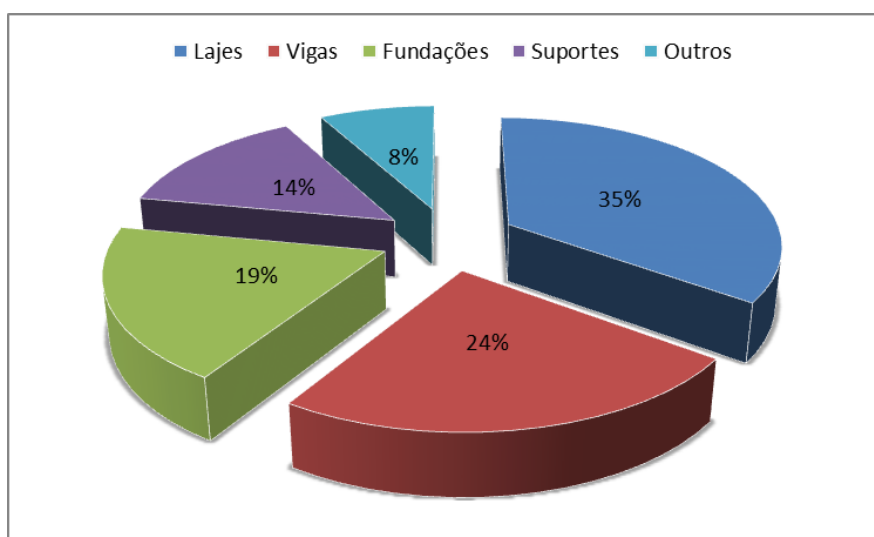


Fig. 3.3 – Localização dos danos em elementos de betão, adaptado de [40]

As fissuras são, por norma, as primeiras a manifestarem-se, logo nos primeiros anos de serviço da estrutura. Por outro lado, a corrosão demora cerca de 10 anos a surgir dependendo sempre da localização do edifício.

Os principais fatores de degradação das estruturas de betão armado estão esquematizados na Figura 3.4.

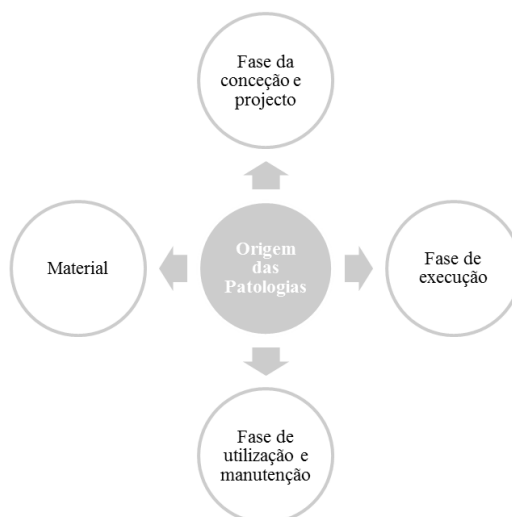


Fig. 3.4 – Origem das patologias das estruturas de betão armado, adaptado de [39]

No entanto, no âmbito desta tese só irão ser exploradas as degradações com origem no material que estão implícitas na deterioração do betão (Figura 3.5) e na corrosão das armaduras (Figura 3.6).

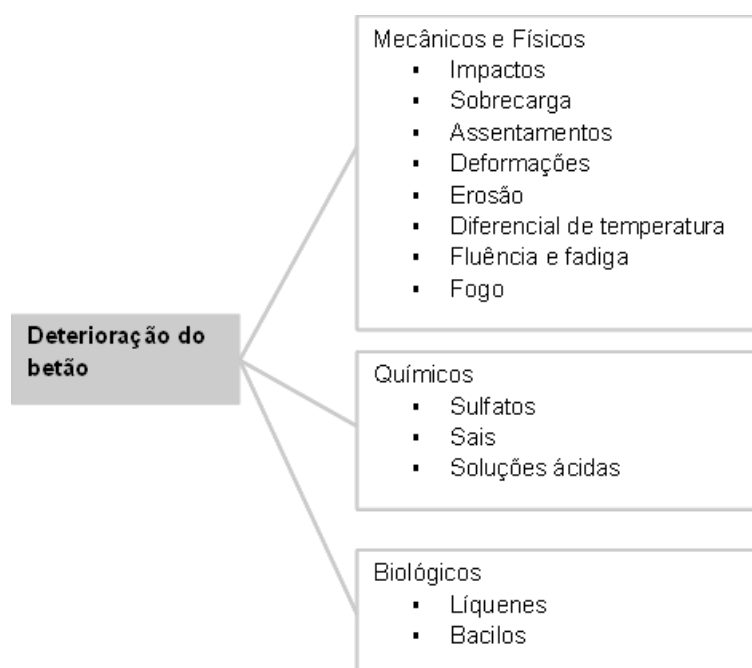


Fig. 3.5 – Processos de deterioração do betão, adaptado de [39]

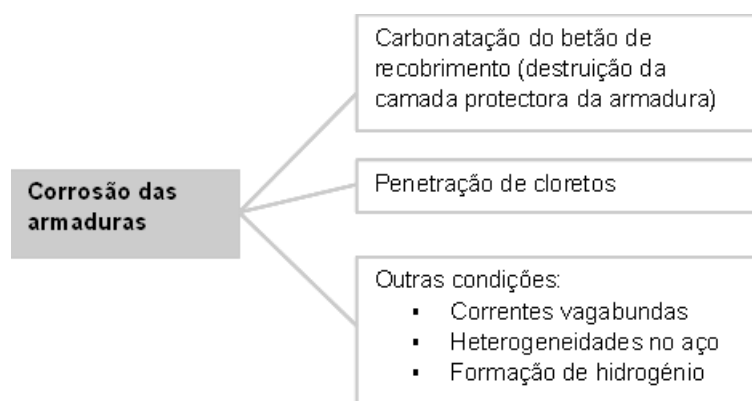


Fig. 3.6- Processos de corrosão das armaduras, adaptado de [39]

No Quadro 3.1 é apresentado um resumo dos fatores de degradação, bem como as respetivas consequências dos processos destes fatores para as estruturas de betão armado.

Quadro 3.1 – Fatores de degradação e ação destes sobre estruturas de betão armado, [39]

Fator de Degradação	Processo	Degradação
<b>Mecânico</b>		
Carregamento estático	Deformação	Deflexão, fendilhação, rotura
Carregamento cíclico	Fadiga, deformação	Deflexão, fendilhação, rotura
Carregamento por impacto	Fadiga	Vibração, deflexão, fendilhação, rotura
<b>Físico</b>		
Variação de temperatura	Expansão/Contração	Deformação restringida
Variação de humidade	Retração e expansão	Deformação restringida
Baixa temperatura + água	Formação de gelo	Desagregação do betão
Sal descongelante + geada	Transferência de calor	Destacamento do betão
Gelo (mar)	Abrasão	Destacamento, fendilhação
Trânsito	Abrasão	Desgaste, rotura
Água corrente	Erosão	Danos superficiais
Turbulência da água	Cativação	Cavidades
<b>Químico</b>		
Água pura	Lixiviação	Desagregação do betão
Ácido	Lixiviação	Desagregação do betão
Ácido e gases ácidos	Neutralização	Despassivação do aço
Dióxido de carbono	Carbonatação	Despassivação do aço
Cloretos	Penetração, destruição da camada de passivação	Despassivação do aço
Despassivação do aço + H <sub>2</sub> O+O <sub>2</sub>	Corrosão	Expansão do aço, perda de diâmetro e de aderência
Tensão + cloretos	Corrosão do aço	Rotura dos tendões de pré-esforço
Sulfatos	Pressão dos cristais	Desagregação do betão
Agregado (sílica) + álcalis	Reação da sílica	Expansão, desagregação
Agregado (carbonato) + álcalis	Reação do carbonato	Expansão, desagregação
<b>Biológico</b>		
Micro-organismos	Produção de ácido	Lixiviação
Bactérias	Produção de ácido	Lixiviação
<b>Eletromagnético</b>		
Electricidade	Corrosão	Expansão do aço, perda de diâmetro e de aderência
Magnetismo	Corrosão	Expansão do aço, perda de diâmetro e de aderência

### 3.2.4. DETERIORAÇÃO DO BETÃO

#### 3.2.4.1. Processos mecânicos

O processo mecânico de deterioração mais comum no betão é a fissuração que ocorre quando a resistência à tração deste material é excedida. A fendilhação pode ocorrer na fase de endurecimento, compactação, proteção ou cura do betão. A Figura 3.7 apresenta as causas de fissuração do betão antes e depois do endurecimento, e a Figura 3.8 relaciona a idade de aparecimento de fissuras com a sua causa.

Antes do endurecimento	Depois do endurecimento
Plástica <ul style="list-style-type: none"> <li>Retracção plástica</li> <li>Assentamento plástico</li> </ul>	Física: <ul style="list-style-type: none"> <li>Retracção dos inertes</li> <li>Retracção por secagem</li> <li>Craquelé</li> </ul>
Deslocamento em construção <ul style="list-style-type: none"> <li>Da cofragem</li> <li>Dos apoios</li> </ul>	Estrutural <ul style="list-style-type: none"> <li>Sobrecarga acidental</li> <li>Fluência</li> <li>Cargas de projecto</li> </ul>
Congelação prematura	Térmica <ul style="list-style-type: none"> <li>Ciclo gelo/degelo</li> <li>Variações térmicas sazonais no exterior</li> <li>Contração térmica:               <ul style="list-style-type: none"> <li>Impedida extremamente</li> <li>Gradientes térmicos internos</li> </ul> </li> </ul>

Fig. 3.7 – Causas da fissuração do betão, [38]

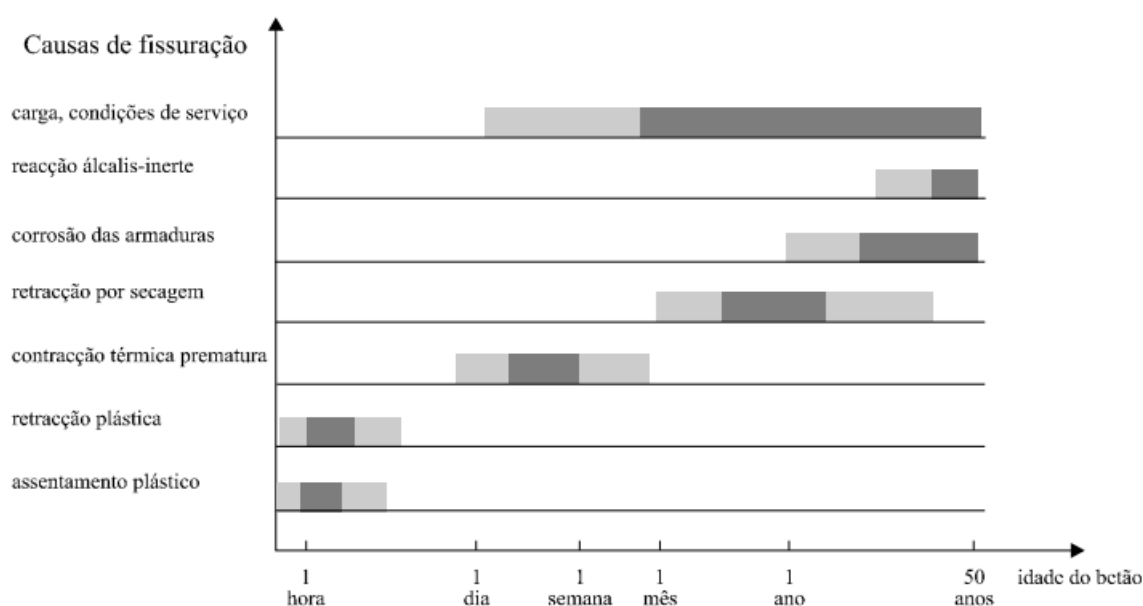


Fig. 3.8 – Idades do betão para possível aparecimento de fissuras com várias causas, [41]

### 3.2.4.2. Processos físicos

Os principais processos físicos de deterioração do betão são, [39]:

- Ciclos de gelo/degelo;
- Erosão por abrasão e por cativação: característica de elementos estruturais que estejam parcialmente submersos, sujeitos a grande velocidade de água;
- Ações térmicas: associado a variações bruscas de temperatura, em que a temperatura superficial do elemento se ajusta rapidamente à temperatura ambiente e a temperatura no seu interior se ajusta lentamente;

### 3.2.4.3. Processos químicos

Os processos químicos de degradação do betão são originados, em geral, por substâncias agressivas oriundas do meio ambiente, que são transportadas para o interior do betão em direção às substâncias com as quais reagem. A água, em estado gasoso ou líquido, é o principal interveniente nos processos químicos e a temperatura, por sua vez, influencia a velocidade das reações.

Na Figura 3.9 estão representadas as reações mais importantes que conduzem à deterioração do betão.

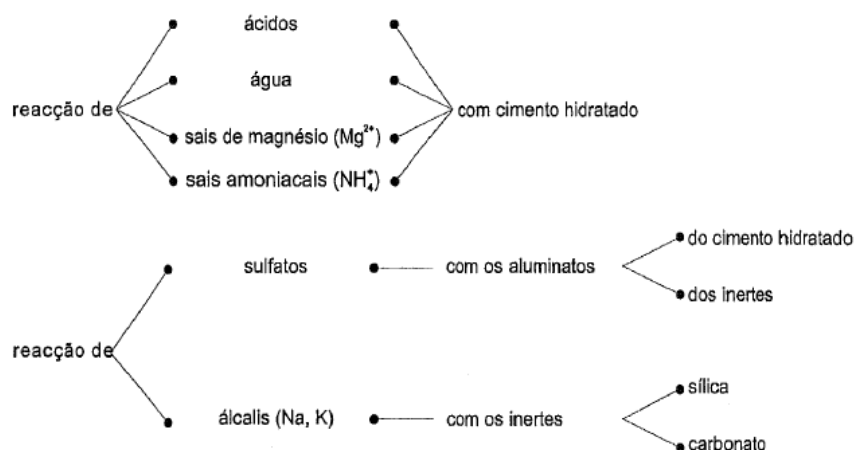


Fig. 3.9 – Principais reações responsáveis pela deterioração do betão, [41]

### 3.2.4.4. Processos biológicos

Os principais processos biológicos intervenientes na deterioração do betão encontram-se relacionados com os seguintes fatores, [41]:

- Desenvolvimento de musgos, líquenes e raízes de plantas que penetram através de fendas e pontos fracos do betão;
- Retenção de água à superfície do betão;
- Formação de ácido húmico;
- Sistemas de águas residuais (ácido sulfúrico).

A presença de aberturas, como fendas, em elementos de betão, pode, por ação de agentes bacteriológicos como musgos, líquenes ou raízes de plantas, provocar a sua deterioração. Por sua vez, a retenção de humidade poderá aumentar a deterioração por reação com os elementos constituintes do



betão. A formação de ácido húmico, um ácido responsável por atacar a pasta de cimento, deve-se ao desenvolvimento de microrganismos nos elementos de betão, [41].

### 3.2.5. A CORROSÃO NO BETÃO ARMADO

A durabilidade de uma estrutura de betão armado depende da corrosão das armaduras de aço que pode ter origem após a perda de proteção que o betão lhes oferece. O betão com a sua forte alcalinidade ( $\text{pH} > 12,5$ ) é um ótimo meio de proteção destas armaduras, devido a um fenómeno denominado “passivação”. É formada uma película passivante de óxidos de ferro na superfície do aço, microscópica de cerca de 10 nm ( $10^{-9}$  m) de espessura, constituindo o betão uma barreira física à penetração dos agentes agressivos que podem afetar esta película, [42].

A despassivação do aço, ou seja, a destruição da película passivante, pode ter origem através de dois fenómenos, [41]:

- Decréscimo do pH (abaixo de 8 a 9,5), ou seja, redução da alcalinidade do betão, por ação da carbonatação;
- Penetração de agentes despassivantes, sobretudo iões cloreto, no betão de recobrimento até junto das armaduras, em quantidades suficientes para provocar a rotura da película passivante.

Os dois fenómenos mais importantes que intervêm na despassivação das armaduras são assim a carbonatação do betão e a penetração de cloretos. A carbonatação consiste na reação do dióxido de carbono do ar que penetra através dos poros do betão, com os compostos cálcios do betão, sobretudo o hidróxido de cálcio. É um fenómeno inevitável mas tanto mais lento quanto maior for a densidade do betão e depende do teor de humidade, já que a reação é diminuída em condições de saturação ou de baixa humidade, [42].

A degradação das estruturas, devido à corrosão no betão armado pode ser entendida como um processo que ocorre em dois períodos, [42]:

- Período de iniciação: correspondente ao tempo necessário para que estejam reunidas as condições que levam à despassivação do aço;
- Período de propagação: correspondente ao tempo desde passivação até um estado inaceitável de degradação da estrutura, devido à progressão da corrosão.

A duração do período de iniciação está relacionada com a agressividade ambiental e com as características intrínsecas do betão, visto que a concentração crítica de cloretos (concentração a partir da qual ocorre a despassivação das armaduras) varia não só com o tipo de betão mas também com as condições de exposição e de agressividade do meio ambiente. Por sua vez, a duração do período de propagação está ligada à velocidade de corrosão que depende da facilidade de transporte no betão da água e do oxigénio e das condições climáticas ambientais [39].

A Figura 3.10 ilustra o processo de carbonatação do betão e a provável corrosão das armaduras.

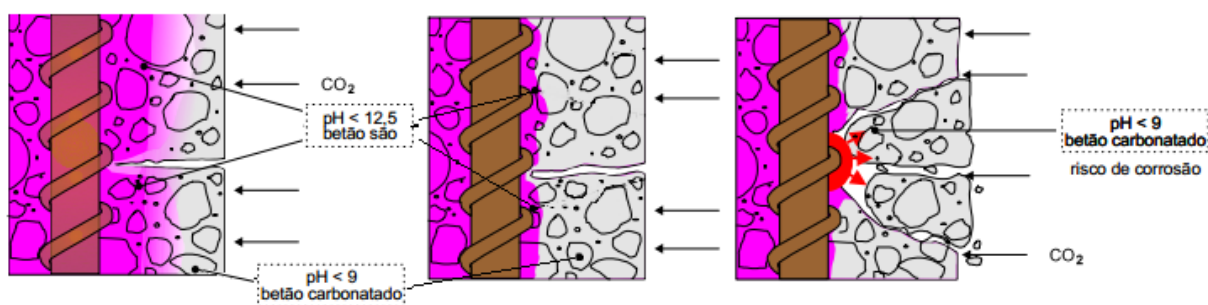


Fig. 3.10 - Avanço da frente de carbonatação e suas consequências, adaptado de [43]

A corrosão das armaduras pode ocorrer de três formas, ilustradas pela Figura 3.11:

- Localizada;
- Generalizada;
- Sob tensão (localizada).

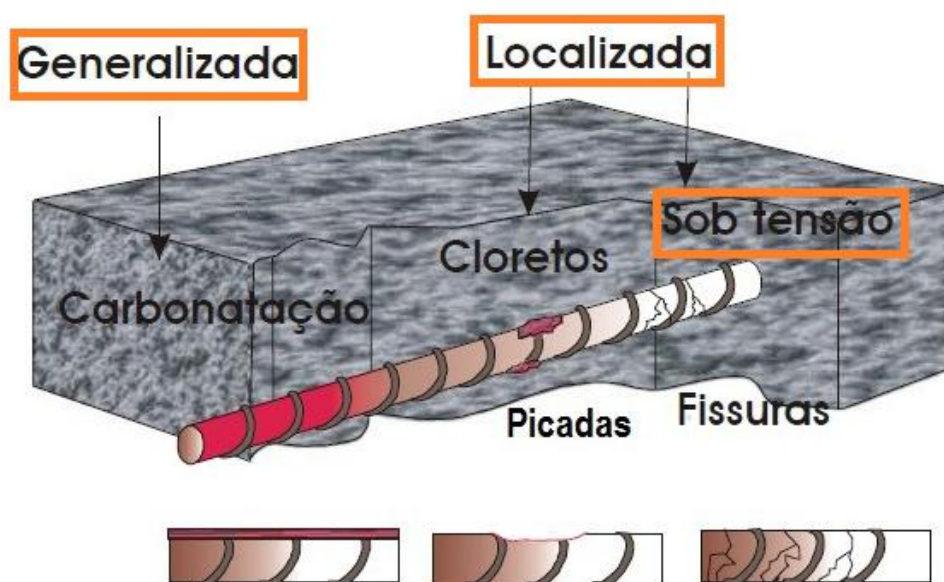


Fig. 3.11 – Tipos de corrosão em armaduras, [42]

A corrosão localizada, Figura 3.12, é causada sobretudo pela presença de cloretos que provocam “picadas” no aço, visto que a película passiva desaparece apenas em pequenas superfícies. Os íons de cloreto atuam como catalisadores na “picada”, que atua como ânodo e acelera a dissolução do ferro [41].

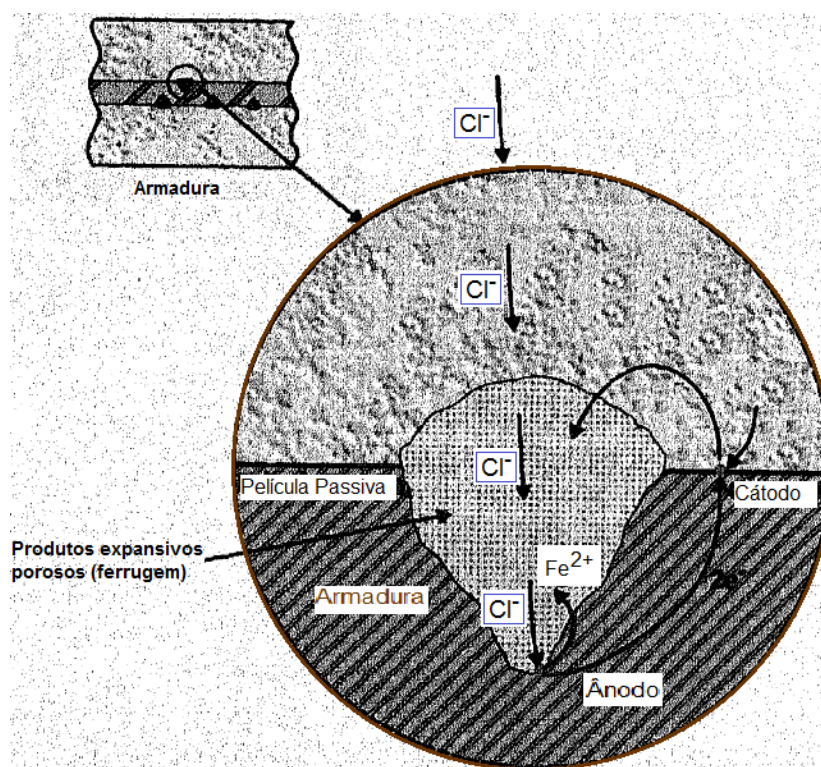


Fig. 3.12 – Corrosão localizada em armaduras causada por cloretos, adaptado de [44]

Na corrosão generalizada, a despassivação ocorre em toda a superfície da armadura sendo a sua origem consequência da carbonatação da camada de revestimento, a penetração de cloretos até à armadura ou a lixiviação de álcalis.

A corrosão sob tensão, Figura 3.13, é característica do aço pré-esforçado resultando da distribuição não uniforme de tensão na armadura causada por defeitos de fabrico, [41].

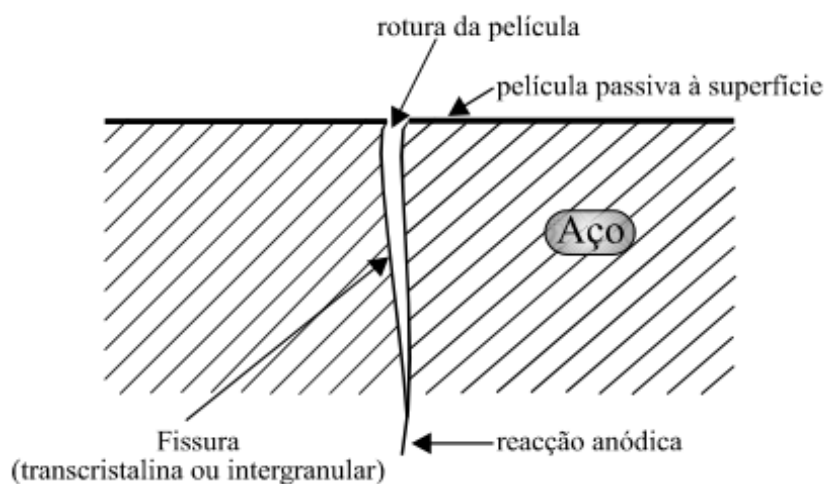


Fig. 3.13 – Fissuração na corrosão sob tensão, [38]

Na Figura 3.14 estão representados os vários tipos de patologias resultantes da corrosão de armaduras em estruturas de betão armado.

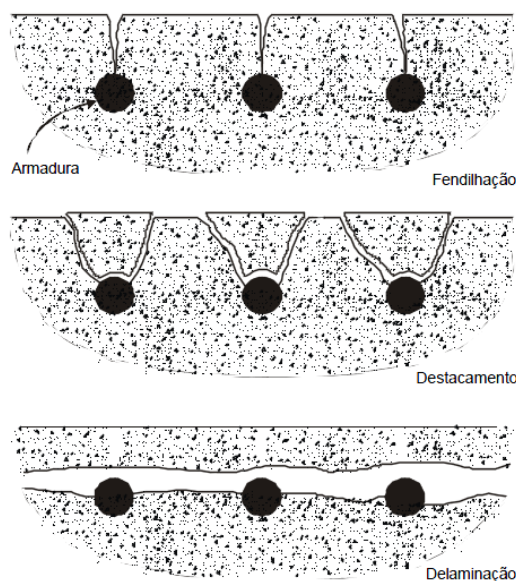


Fig. 3.14 – Estragos provocados pela corrosão, [34]

### 3.3. ESTRUTURAS DE MADEIRA

#### 3.3.1. INTRODUÇÃO

Na atualidade, assiste-se a um drástico consumo dos recursos ambientais, sendo o desenvolvimento sustentável um dos principais desafios e objetivos dos dias de Hoje. A madeira além de ser um material renovável, reutilizável e reciclável, possui um processo de transformação com um baixo consumo energético comparativamente ao aço e o ao betão, tornando-se assim num material ambientalmente eficiente e contribuindo para a construção sustentável.

A ausência de regulamentação nacional que faça uma abordagem do dimensionamento e dos aspetos construtivos de estruturas de madeira, contribui para uma pouca utilização da madeira em Portugal. Mas o aparecimento do Eurocódigo 5 veio colmatar essa lacuna existente, e a madeira utilizada na construção civil também sobre a forma de revestimento e material de cofragem tem agora oportunidade de ganhar terreno relativamente a outros materiais, visto possuir um reduzido impacto ambiental e ser um material reutilizável, proveniente de fontes renováveis. Assim e com um melhor conhecimento das propriedades deste material prevê-se um cada vez maior e mais efetivo emprego da madeira [45].



Fig. 3.15 – Pormenor de ligações de uma estrutura de madeira [46]

Os pontos mais frágeis de uma estrutura de madeira são em geral as ligações pois estão sujeitas a esforços e tensões localizadas constituindo zonas críticas que exigem atenção redobrada para a estabilidade global da estrutura. A junção de outros materiais estruturais permite colmatar as carências da madeira melhorando as suas prestações e fazendo com que a sua tecnologia esteja em constante evolução aumentando o seu campo de aplicação, Figura 3.15.

### 3.3.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA MADEIRA COMO MATERIAL ESTRUTURAL

Se a escolha do material estrutural recair sobre a madeira, as principais vantagens são, [39] [47]:

- Possibilidades de ser adquirida em grandes quantidades visto que as reservas se renovam por si próprias, tornando o material sempre disponível;
- Material dúctil avisando antes do colapso;
- Material capaz de resistir tanto a esforços de compressão como de tração;
- Baixa massa volúmica e resistência mecânica elevada, podendo apresentar a mesma resistência à compressão que um betão de resistência razoável e 10 vezes maior resistência à flexão e corte;
- Bom isolante térmico;
- Bom isolante acústico;
- A baixa condutividade térmica e estrutura fibrosa fazem com que seja um material com um comportamento ao fogo aceitável;
- Fácil manipulação, transporte e montagem graças ao pouco peso;
- Não estilhaça quando submetida a choques bruscos;
- Permite ligações e emendas fáceis de executar;
- No seu aspeto natural apresenta grande variedade de padrões.



Contudo, há que ter em atenção as desvantagens que fizeram com que a madeira fosse, em certa altura suplantada pelo betão armado e pelo aço:

- Material heterogéneo e anisotrópico;
- Vulnerável a ataques biológicos e abióticos;
- Limitação geométrica, formas alongadas de secção transversal reduzida devido à estrutura arbórea;
- Bastante sensível ao ambiente, aumentando e diminuindo de dimensões com as variações de humidade.

### 3.3.3.FATORES DE DEGRADAÇÃO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

A variação da composição (celulose, hemiceluloses, lenhina e extrativos) e da organização destes componentes na estrutura da madeira explica a multiplicidade das características morfológicas e mecânicas deste material. É uma composição complexa, formada por carbono, hidrogénio, oxigénio, azoto e por substâncias orgânicas. Desta forma, está sujeita à decomposição da sua estrutura molecular, o que provoca a desintegração estrutural e consequente destruição, devido à ação de agentes químicos, físicos, mecânicos e biológicos. É, assim, possível dividir os danos que ocorrem em estruturas de madeira em três grandes grupos, [39]:

- Danos de origem biológica;
- Danos de origem não biológica;
- Danos de origem estrutural.

Efetuada uma abordagem mais específica, as causas que afetam as estruturas de madeira podem dividir-se em três grupos, [39]:

- a. Materiais: biodegradação; alteração volumétrica, incompatibilidade nas ligações com outros materiais;
- b. Elemento estrutural: fissuração, comportamento reológico, alteração da forma geométrica;
- c. Ligações: inadequação geral de resistência e rigidez, perda de eficiência, escorregamentos diferidos no tempo.

A norma portuguesa EN 335-1 de 2011 define cinco classes de risco para a durabilidade da madeira e de produtos derivados da madeira, que correspondem às diferentes situações de serviço às quais a madeira e os produtos derivados podem estar expostos indicando os agentes biológicos relevantes em cada situação, Quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Classes de risco de aplicação de madeira maciça, [48]

Classes de risco	Situação geral em serviço	Descrição da exposição à humidade em serviço	Agentes biológicos
1	No interior, protegido	Seco	Carunchos Térmitas
2	No interior ou protegido	Ocasionalmente húmido	Carunchos Térmitas Fungos cromogéneos Fungos de podridão
3	3.1 No exterior, acima do solo, protegido	Ocasionalmente húmido	Carunchos Térmitas Fungos cromogéneos Fungos de podridão
	3.2 No exterior, acima do solo, desprotegido	Frequentemente húmido	
4	4.1 No exterior, em contacto com o solo e/ou água doce	Predominante ou frequentemente húmido	Carunchos Térmitas Fungos cromogéneos Fungos de podridão Fungos de podridão mole
	4.2 No exterior, em contacto (severo) com o solo e/ou com água doce	Permanentemente húmido	
5	Na água salgada	Permanentemente húmido	Fungos de podridão Fungos de podridão mole Xilófagos marinhos

Consideram-se como:

- Classe de risco 1: situação na qual a madeira, ou produtos derivados da madeira, estão abrigados, não estando exposto às condições meteorológicas ou à humidade;
- Classe de risco 2: situação na qual a madeira, ou produtos derivados da madeira, estão abrigados e não expostos às condições meteorológicas, mas onde uma humidade ambiente elevada pode conduzir a uma humificação ocasional, mas não persistente;
- Classe de risco 3: situação na qual a madeira, ou produtos derivados da madeira, não estão abrigados nem em contacto com o solo. Estão, ou continuamente expostos às condições meteorológicas, ou abrigados das condições meteorológicas mas sujeitos a uma humificação frequente;
- Classe de risco 4: situação na qual a madeira, ou produtos derivados da madeira, estão em contacto com o solo ou com água doce e deste modo expostos permanentemente a humificação;
- Classe de risco 5: situação na qual a madeira, ou produtos derivados da madeira, estão permanentemente expostos ao contacto com a água salgada.

### 3.3.3.1 Danos de origem biológica

Sendo a madeira um material de origem biológica, constituído por uma matriz de celulose (fibras) e lenhina (cola), contendo água, amido e açúcares, esta degrada-se por ação de agentes biológicos, tais como fungos, bactérias, insetos e xilófagos marinhos.

A já referida norma portuguesa, EN 335-1, distingue estes agentes biológicos em:

- Fungos
  - Fungos destruidores de madeira (em que é necessário um teor de água superior a 20% para o seu desenvolvimento):
    - Basidiomicetes (Fungos de podridão): responsáveis pela podridão castanha (Figura 3.16) e pela podridão branca (Figura 3.17), mas não são pela podridão mole;
    - Fungos de podridão mole: fungos que causam um tipo de podridão caracterizado por um amolecimento da superfície da madeira, embora possam também provocar uma podridão em profundidade. Estes fungos necessitam de um teor de água mais elevado que os basidiomicetes e são particularmente importantes para a madeira em contacto com o solo ou com a água;
  - Fungos cromogéneos da madeira: fungos que causam o azulamento e os bolores em serviço;
    - Fungos de azulamento: causam uma coloração permanente da madeira, azulada a negra, de intensidade e profundidade variáveis, principalmente no borne (ou alburno) de certas madeiras. Na prática não conduzem a uma alteração apreciável das propriedades mecânicas, mas podem aumentar a permeabilidade;
    - Bolores: aparecem sobre a superfície das madeiras, em manchas de coloração variada, mas somente quando o teor de água na superfície da madeira é superior a 20%;
- Insetos
  - Coleoptera (carunchos): insetos voadores que fazem a postura dos seus ovos nos poros ou fendas da madeira, e cujas larvas atacam a madeira;
  - Isoptera (térmitas): insetos sociais que pertencem a várias famílias;
- Xilófagos marinhos: termo aplicado essencialmente aos organismos marinhos invertebrados que necessitam de uma certa salinidade da água e que progridem na madeira através de galerias e cavidades que escavam. Estes organismos podem causar destruição grave nas estruturas fixas ou flutuantes.



Fig. 3.16 - Podridão castanha, [49]



Fig. 3.17 - Podridão branca, [49]



Como se pode verificar, a quantidade de água de um elemento de madeira está diretamente associado aos danos de origem biológica principalmente ao desenvolvimento de bolores e fungos. No Quadro 3.3 encontram-se definidas as condições de humidade necessárias para o desenvolvimento destes agentes biológicos.

Quadro 3.3 – Condições de humidade necessárias para o desenvolvimento de bolores e fungos, [39]

Humidade relativa (%)	Colonização	Crescimento	Produção de esporos	Perda de resistência
0-14	Nenhuma	Nenhum	Nenhuma	Nenhuma
15-19	Bolores com esporos (poucas espécies)	Muito lento	Desprezável	Nenhuma
20-24	Bolores, esporos	Lento	Mínima	Nenhuma
	Podridão castanha, rizomorfos	Lento	Lenta	Muito lenta
25-29	Bolores, esporos	Moderado	Moderada	Nenhuma
	Podridão castanha, rizomorfos	Moderado	Nenhuma	Lenta
	Podridão castanha, micélio	Lento	Nenhuma	Lenta
	Podridão Branca, micélio	Muito lento	Nenhuma	Muito lenta
30-49	Bolores, esporos	Rápido	Prolífica	Nenhuma
	Podridão castanha, rizomorfos	Rápido	Limitada	Rápida
	Podridão castanha, micélio	Rápido	Limitada	Rápida
	Podridão Branca, micélio	Lento	Limitada	Lenta
	Podridão castanha, esporos	Rápido		
	Podridão branca, esporos	Lento		
50-89	Bolores, esporos	Rápido	Prolífica	Nenhuma
	Podridão castanha, rizomorfos	Rápido	Limitada	Rápida
	Podridão castanha, micélio	Rápido	Limitada	Rápida
	Podridão Branca, micélio	Rápido	Limitada	Rápida
	Podridão castanha, esporos	Rápido		
	Podridão branca, esporos	Rápido		
90-100	Bolores, esporos	Rápido	Prolífica	Nenhuma
	Podridão castanha, rizomorfos	Lento	Limitada	Lenta
	Podridão castanha, micélio	Lento	Limitada	Lenta
	Podridão Branca, micélio	Rápido	Limitada	Rápida
	Podridão castanha, esporos	Lento		
	Podridão branca, esporos	Rápido		

Quanto aos xilófagos marinhos, principais responsáveis pelos danos em estruturas de madeira situadas em ambientes marinhos, pode-se distinguir entre moluscos e crustáceos, que possuem diferentes formas de ataque, diferenças anatómicas e deixam a madeira degradada com diferentes aspetos, Quadro 3.4.

Quadro 3.4 - Xilófagos marinhos, [39]

Moluscos	Crustáceos
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Produzem uma degradação interior na madeira, não visível</li> <li>▪ Utilizam a madeira como alimento, junto com substâncias orgânicas dissolvidas na água</li> <li>▪ Produzem galerias de 10 a 12mm de diâmetro com paredes que parecem cobertas por uma capa de calíça</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Produzem uma degradação superficial logo visível</li> <li>▪ Atuam em massa e podem causar grande destruição</li> <li>▪ Abrem galerias com comprimento inferior a 1cm e diâmetro de 2mm, ficando a madeira toda crivada por estas galerias. Como a separação entre elas é muito pouco espessa, parte-se com grande facilidade devido ao impacto da água. Assim, ao fim de algum tempo, forma-se uma nova superfície de ataque, sendo que, simultaneamente se produz uma diminuição da resistência do elemento de madeira, por perda de secção. O desgaste anual em profundidade varia entre 3 a 6 cm</li> </ul>

O Quadro 3.5 resume os danos mais comuns de origem biológica.

Quadro 3.5 - Danos mais comuns de origem biológica, [39]

Defeito	Definição	Causas Principais	Consequências tecnológicas	Ocorrência mais frequente
Azulado	Mancha provocada por colonização de fungos cromogêneos	Invasão do lenho por hifas do fungo, associada a digestão de células parenquimatosas	Desvalorização da madeira, devido à alteração cromática e certa modificação do comportamento físico, mecânico e tecnológico	Pinheiros e Choupas
Podridão	Biodegradação micótica de componentes fundamentais da substância lenhosa (lenhina e/ou celulose)	Ataque de fungos e outros micro-organismos (bactérias) que se nutrem de constituintes químicos da substância lenhosa ou provocam efetiva erosão da parede celular	Perda de peso e de dureza com progressiva diminuição de resistência mecânica, bem como frequente diminuição de textura e cor do material	A infecção pode ocorrer na árvore, durante a exploração da madeira ou no seu processamento tecnológico, bem como durante o seu desempenho funcional

Quadro 3.5 - Danos mais comuns de origem biológica – parte 2, [39]

Defeito	Definição	Causas Principais	Consequências tecnológicas	Ocorrência mais frequente
Podridão Incidente	Alteração cromática, sem modificação perceptível de propriedades físicas e mecânicas da madeira	Reação natural dos constituintes químicos do lenho a ações enzimáticas de fungos xilóforos	Alteração de cor da madeira	Ocorre, sobretudo, em madeiras húmida ou com elevados teores de água
Podridão alveolar	Podridão caracterizada pela definição de pequenos alvéolos	Fase avançada do ataque de fungos do ardido	Progressiva destruição da madeira, por sistemática decomposição da lenhina	Cerne das resinosas e cerne do eucalipto
Podridão cúbica	Podridão que em fase avançada se caracteriza por fendimentos ortogonais mais ou menos planos, definindo cubos de consistência friável	Podridão provocada por <i>Serpula lacrymans</i>	Total inutilização da madeira. Gravíssima contaminação de madeiras aplicadas em edifícios e ambientes de certo modo confinados	
Podridão fibrosa	Podridão que em fase avançada se caracteriza por aspeto fibroso de fácil desagregação do lenho	Destruição causada por <i>Coriolus versicolor</i> em madeiras em contato com o solo, bem como por <i>Ungulina Annosa</i> em pinhos e <i>Trametes Trabea</i> em eucaliptos	Aparente desfibração da madeira, com perda de resistência mecânica	Ataque frequente ao cerne de diversas árvores: por exemplo carvalhos, azinheiras e sobreiros
Podridão branca	Podridão caracterizada por decomposição de todos os componentes fundamentais da substância lenhosa (lenhina e celulose), reduzindo-a a um resíduo acinzentado	Biodegradação fúngica	Completa ruína da madeira	

Quadro 3.5 - Danos mais comuns de origem biológica – parte 3, [39]

Defeito	Definição	Causas Principais	Consequências tecnológicas	Ocorrência mais frequente
Podridão castanha	Tipo de podridão produzida por fungos que atacam sobretudo a celulose, deixando um resíduo castanho friável de lenhina não atacada	Característica do ataque de Poria	Ruína progressiva da madeira	Madeira em obra e/ou construção (pontes, caixilharia, etc.)
Podridão lamelar	Podridão que na fase terminal se caracteriza por fendimentos, mais ou menos paralelos, frequentemente com massas intercalares brancas	Degradação frequentemente no colo e cerne de árvores	Completa ruína da madeira	Cárie de certas folhosas
Podridão mole	Degradação provocada por certos microfungos que decompõem sobretudo a lamela média da parede celular das fibras	Ataques de <i>Phialophora Hoffmannii</i> e <i>Chaetomium Globosus</i> a resinosas	Amolecimento e perda de resistência mecânica das madeiras	Longa permanência da madeira a drásticas condições de conservação
Podridão seca	Tipo de podridão que confere à madeira aspeto ressequido independente da fissuração	Ataque de certos fungos, nomeadamente de <i>Serpula lacrymans</i>	Completa ruína da madeira	Carpintarias de edifícios em contacto mais ou menos direto com alvenarias ou fundações mal isoladas de focos de humidade
Podridão húmida	Tipo de podridão que confere à madeira aspeto humedecido, independentemente da natureza da destruição	Ataque de fungos, nomeadamente <i>Coniophora puteana</i>	Destruição completa do lenho, ficando reduzido a resíduo polvorento	Frequente em caves e minas, reconhecido como a principal causa de ruínas das madeiras nas galerias subterrâneas

Quadro 3.5 - Danos mais comuns de origem biológica – parte 4, [39]

Defeito	Definição	Causas Principais	Consequências tecnológicas	Ocorrência mais frequente
Bolor	Designação corrente de fungos que se desenvolvem na superfície das peças e de outras substâncias orgânicas, conferindo-lhe aspeto lanuginoso ou mucilaginoso	Formações vegetativas e reprodutivas de fungos (hifas e esporos) que crescem na superfície de madeira excessivamente húmida	Conspuração das peças, que pode ser removida por escovagem ou aplainamento, ocasionando custos acrescidos de reparação	Madeiras verdes ou húmidas
Madeira carunchosa Madeira carcomida Madeira picada	Madeira atacada por insetos <i>xilófagos</i> ou <i>lenhícolas</i> , caracterizada por galerias, furos ou picos e serrim, devido à sua atividade, sobretudo na fase larvar	Infestação por insetos que se desenvolvem na madeira durante a maior parte da sua vida	Total destruição das zonas mais vulneráveis das peças de madeira (sobretudo o borne)	Principalmente em madeiras secas, aplicadas em construção de edifícios (estruturas e carpintarias, decoração e pavimentos), mobiliário, ornatos, obras de arte, etc.
Madeira bichada	Madeira atacada por insetos, não exclusivamente Coleópteros, mas de outras famílias, que provocam ataques subcorticais, praticam galerias profundas ou superficiais e ruínas cavernosas, totalmente destruidoras do material lenhoso	Infestação de insetos das famílias <i>Isoptera</i> , <i>Sericida</i> , <i>Platipodida</i> , <i>Teredinida</i> e <i>Quelurida</i> , etc. que depredam mais ou menos intensamente a madeira, frequentemente utilizando-a sobretudo como abrigo ou substrato de cultura de fungos para nutrição própria	Ruína de progressiva gravidade, com sucessiva afetação das suas propriedades, transformando-a num resíduo mais ou menos grosseiro ou numa estrutura bastante fragilizada. Com frequência, alguns deles veiculam agentes de infeção que decompõem o material	Infestações mais frequentes em madeiras redondas e em fases iniciais de processamento tecnológico e madeiras em serviço, em condições de alto risco (húmidas, imersas em águas salobras, longamente parqueadas em condições inadequadas, etc.)

Quadro 3.5 - Danos mais comuns de origem biológica – parte 5, [39]

Defeito	Definição	Causas Principais	Consequências tecnológicas	Ocorrência mais frequente
Inseto perfurador	Xilófago que penetra em peças de madeira em profundidade, sobretudo no estado verde	<i>Criocephalus polonicus</i>	Profunda depreciação das madeiras quer pelo larvado em toda a espessura, quer pela veiculação de agentes cromogéneos ou fungos	Árvores resinosas de povoamentos percorridos por fogos. Toragem parqueada de resinosas
Térmita	Inseto social Isóptero	Colonização pela formiga-branca	Total depredação da madeira, incapaz de qualquer desempenho, por ficar reduzida a um resíduo terroso friável	Madeiras em contato com o solo, com alvenarias ou fundações húmidas, mesmo quando colocadas secas
Xilófago marinho	Fauna subaquática que depreda madeiras imersas em águas salobras ou salgadas	Molúsculos e Crustáceos que perfuram mais ou menos profundamente as madeiras	Ruína mais ou menos intensa da madeira e consequente afetação de seu desempenho funcional	Madeiras submersas em estuários, zonas portuárias e madeiramentos de construção naval

### 3.3.3.2 Danos de origem não biológica

Como já foi referido os agentes biológicos são a principal ameaça das estruturas de madeira. No entanto o fogo, os agentes químicos e os agentes meteorológicos são também causadores de patologias nestas estruturas.

Quanto aos agentes meteorológicos, a luz solar, através dos raios ultravioletas e infravermelhos, são responsáveis por alterações de tonalidade da camada superficial exposta, sem qualquer interferência nas propriedades mecânicas da madeira. Por sua vez a precipitação descora o material alterado pela luz solar da superfície. Os ciclos de humedificação e secagem de grande escala podem provocar o aparecimento de fendas superficiais, sendo que é a rápida alteração do teor de humidade da camada superficial das estruturas de madeira que está associada à deterioração produzida pelos agentes atmosféricos. A humidade, por si só, não é responsável pela degradação das estruturas de madeira, visto que a variação dimensional das peças, associadas a variações do seu teor de humidade, são reversíveis. Mas, caso a durabilidade natural da madeira seja baixa, a estrutura fica vulnerável ao

ataque biológico de fungos e/ou térmitas. A exposição da madeira a elevadas humidades além de provocar a perda transitória de resistência mecânica, também aumenta os fenómenos de fluência podendo ocasionar grandes deformações sob a ação de cargas.

Relativamente aos agentes químicos, a madeira possui um bom comportamento, sendo que estes, por norma, apenas provocam a alteração de cor. No entanto, ácidos fortes, lixívia alcalinas e mesmo detergentes podem provocar alterações na madeira. A cal afagada em estado fresco, por exemplo, se permanecer bastante tempo em contacto com a madeira pode provocar a corrosão desta. As substâncias alcalinas são capazes de causar a perda de resistência e consistência da lenhina, enquanto os ácidos apenas afetam a celulose, [39].

### 3.3.3.3 Danos de origem estrutural

Os danos de origem estrutural manifestam-se em geral nos primeiros tempos de serviço das estruturas de madeira e podem agrupar-se nos seguintes conjuntos, [39]:

- Secção insuficiente para as cargas atuantes;
- Deformações elevadas e roturas a longo prazo devido ao efeito da fluência em peças sem o período correto de secagem;
- Rotação dos apoios devido às retrações da madeira e falta de solidez do material de encastramento na zona de entrega;
- Falhas nas uniões fruto de um dimensionamento incorreto ou de peças mal desenhadas, com possível incremento da deformação;
- Contraventamento insuficiente, podendo ter como consequência a ruína ou perda de verticalidade de parte da estrutura.

Por fim, como resumo de danos de estruturas de madeira, o Quadro 3.6 apresenta os fatores que provocam a degradação da madeira dividindo estes em abióticos e bióticos.

Quadro 3.6 - Fatores que provocam a degradação da madeira, [39]

Fatores	Dano provocado
Abióticos	
Fatores crescimento	Fibra torcida; madeira entrelaçada; curvatura do tronco; nós; fendas; crescimento anormal
Fatores climáticos	Descoloração; fendas; perda de faculdades mecânicas; envelhecimento (cor cinzenta)
Produtos químicos	Alteração da cor
Fogo	Carbonização; perda de resistência; deformação e problemas nas ligações
Uso mecânico	Fadiga e perda de resistência; deformação e problemas nas ligações
Bióticos	
Bactérias (Bolors)	Ligeira alteração das propriedades, com pouca importância
Fungos de podridão	Decomposição da madeira, com importante perda de peso e resistência
Fungos cromogéneos	Alteração da cor e ligeira perda de resistência. Predisposição frente a novos ataques
Insetos xilófagos	Perfuração e perda de massa. Diminuição da resistência, podendo chegar à destruição total
Xilófagos marinhos	Idêntico ao dos insetos

### 3.4. ESTRUTURAS METÁLICAS

#### 3.4.1. INTRODUÇÃO

No início do século XX, a produção mundial de aço totalizava 28 milhões de toneladas, isto é, seis vezes mais do que em 1880. No início da 1ª Guerra Mundial, a produção de aço era já de 85 milhões de toneladas. Em algumas décadas, o aço tornou muito mais resistentes os equipamentos utilizados na manufatura, e substituiu o ferro na maior parte das suas aplicações [50].

Em Portugal, e mais recentemente, houve um aumento de mais de 200% de consumo de aço de 2002 para 2008, segundo números da European Convention for Constructuional Steelwork (ECCS). Nesse mesmo ano de 2008, a ECCS previu um contínuo crescimento do consumo para 2009 e 2010 como se pode verificar na Figura 3.18.

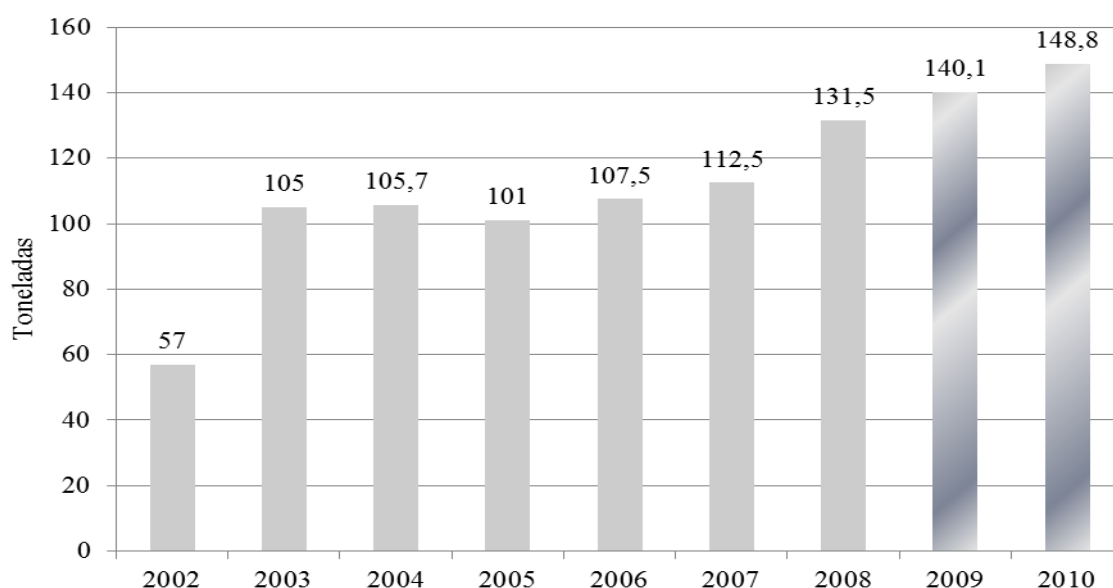


Fig. 3.18 - Valores estimados de produção de estruturas de aço para construção em Portugal entre 2002 e 2010, [50]

Este aumento justifica-se pelo recurso a soluções metálicas tanto na construção de edifícios de habitação e comércio, pontes e viadutos, edifícios de grande altura, terminais ferroviários e pavilhões industriais e desportivos. O Quadro 3.7 representa a produção nacional de estruturas de aço segundo números da ECCS.



Quadro 3.7 – Produção de estruturas de aço para construção em Portugal, [50]

Produção de estruturas de aço em toneladas			
Sector	2008	2009 (Previsto)	2010 (Previsto)
<b>Edifícios</b>			
Industriais	70	75	79
Não Residências	22	23,5	25
Edifícios residenciais (habitações)	1,5	1,6	1,8
Total Edifícios	93,5	100,1	105,8
<b>Infraestruturas</b>			
Pontes	17	17	17
Outras infraestruturas	21	23	26
Total Infraestruturas	38	40	43
<b>TOTAL</b>	<b>131,5</b>	<b>140,1</b>	<b>148,8</b>

Mesmo assim Portugal apresentou, em 2008, um consumo desta matéria-prima bastante inferior ao consumo dos principais países europeus, Figura 3.19.

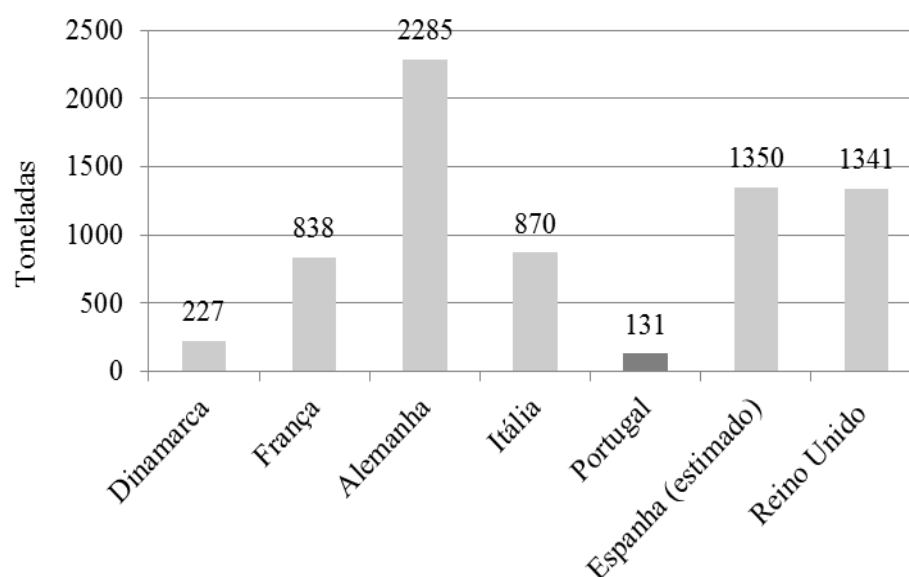


Fig. 3.19 -Produção total de aço de alguns países europeus em 2008, [50]

A expansão do consumo de aço que se tem verificado um pouco por todo o mundo está relacionada com a necessidade de se construir em prazos cada vez mais curtos, com um maior controlo de qualidade (pré-fabricação) e com uma maior sustentabilidade ambiental.

### 3.4.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS ESTRUTURAS METÁLICAS COMO MATERIAL ESTRUTURAL

Este material apresenta como principais vantagens, [39]:

- Elevada ductilidade: capacidade de se deformar sem perder as propriedades mecânicas;
- Elevada durabilidade: períodos de vida elevados se possuírem uma atenta manutenção;
- Elevada resistência: sobretudo a esforços de tração;
- Elevada tenacidade: capacidade de absorver grande quantidade de energia;
- Uniformidade: configuração uniforme;
- Rapidez de execução: visto a estrutura metálica ser constituída por peças pré-fabricadas, a montagem pode ser executada com grande rapidez;
- Possibilidade de reaproveitamento: principalmente quando as ligações forem aparafusadas e não existirem lajes de betão, as estruturas podem ser desmontadas e reaproveitadas;
- Possibilidade de execução de peças com diversas formas e tamanhos;
- Facilidade de reforço e ampliação.

As principais desvantagens deste material são, [39]:

- Encurvadura: grande possibilidade dos elementos sofrer encurvadura se forem esbeltos e possuírem grandes comprimentos;
- Resistência ao fogo: a resistência do aço quando exposto a elevadas temperaturas diminui significativamente;
- Custos de manutenção: visto ser um material suscetível à corrosão, as estruturas metálicas obrigam a cuidados de manutenção principalmente em zonas húmidas.

### 3.4.3.FATORES DE DEGRADAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS

Abordando todas as fases da “vida” do aço é possível dividir as possíveis patologias nos grupos apresentados na Figura 3.20.

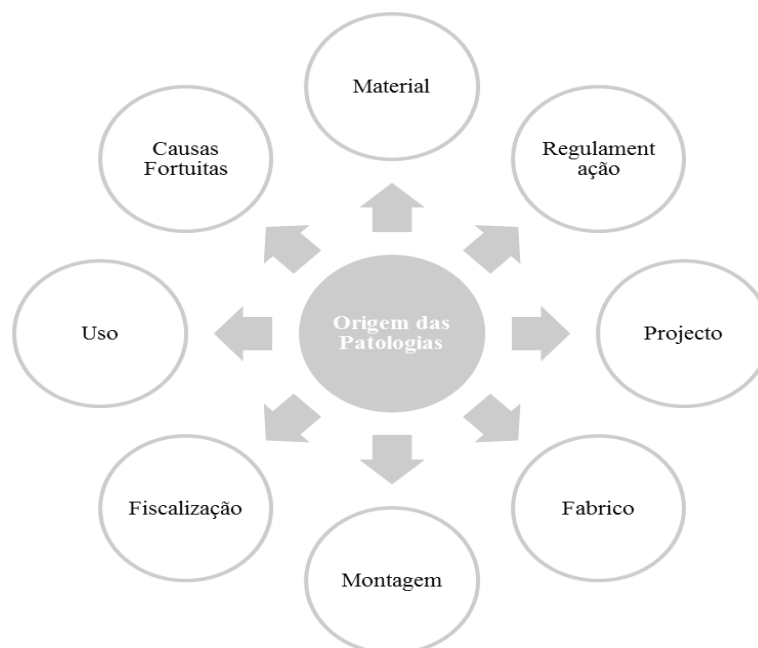


Fig. 3.20 – Origem das patologias das estruturas metálicas, adaptado de [51]

As patologias relativas ao material, por sua vez, podem ser agrupadas de acordo com a Figura 3.21.



Fig. 3.21- Patologias relativas ao material, adaptado de [51]

No entanto, em função do âmbito desta tese só irá ser explorado o fenómeno da corrosão que para além de ser a patologia mais frequente nas estruturas metálicas é também a mais relacionada com os efeitos do ambiente marítimo. As estruturas metálicas imersas e submersas, como oleodutos, cais de atracação de embarcações entre outros correspondem a grandes investimentos e exigem durabilidade e resistência à corrosão que justifiquem os valores investidos.

#### 3.4.4. CORROSÃO

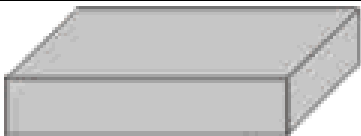
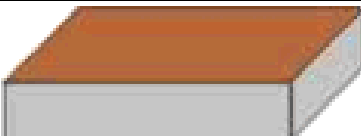

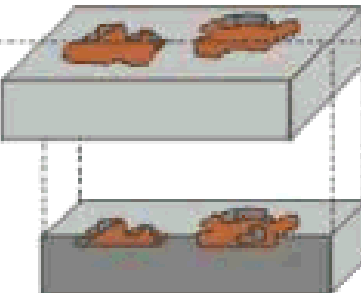
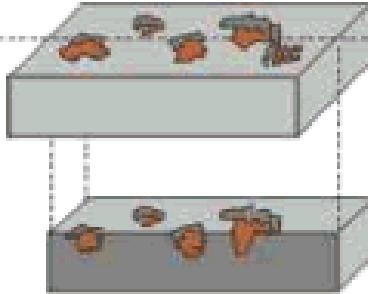
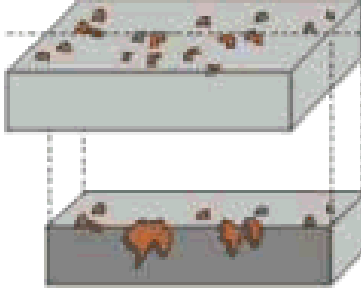



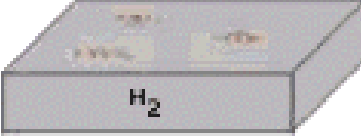
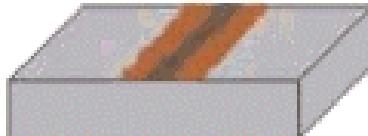

A corrosão é um processo natural que ocorre como consequência da interação de um material metálico com o meio de exposição ao qual ele se encontra sujeito. As características do material irão ser afetadas e este poderá deixar de ter capacidade para cumprir as funções a que se destinava. Se a escolha de um material não considerar o efeito da corrosão, a segurança da estrutura pode estar em risco, tornando-se assim essencial que as estruturas metálicas tenham em conta, no seu dimensionamento, o efeito da ação do meio corrosivo.

O efeito da corrosão nas estruturas de aço pode provocar [39]:

- A perda de secção do elemento estrutural: tendo como consequência a perda de resistência e rigidez, conduzindo a incrementos dos níveis de tensão e deformação;
- Aumento dos produtos de corrosão: o aumento da secção pode provocar o aumento das tensões instaladas;
- Corrosão localizada: provocando entalhes que podem iniciar faturas.

A corrosão pode ocorrer de diferentes formas podendo estas ser apresentadas segundo a morfologia, as causas ou mecanismos, os fatores mecânicos, o meio corrosivo ou a localização da sua ocorrência. A caracterização da forma ou tipo de corrosão é um aspeto com grande importância para se determinar as medidas de proteção mais adequadas. No Quadro 3.8 estão representadas algumas das formas mais frequentes de corrosão.

Quadro 3.8- Formas de corrosão, adaptado de [52]

Sem corrosão		Corrosão uniforme	
Corrosão intergranular		Corrosão em placas	
Corrosão alveolar		Corrosão puntiforme (pite)	
Corrosão intergranular (micrografia)		Corrosão filiforme	
Corrosão intragranular (micrografia)		Empolamento por hidrogénio	
Corrosão em torno de solda		Corrosão por esfoliação	

### 3.4.4.1. Corrosão eletroquímica

O processo de corrosão é considerado uma reação eletroquímica ocorrida por norma entre a superfície de separação entre o aço e o meio corrosivo.

O Quadro 3.9 apresenta os vários tipos de corrosão eletroquímica existentes.

Quadro 3.9 – Tipos de corrosão eletroquímica, [39], [52], [53] e [54]

Designação	Imagem	Descrição
Corrosão uniforme		<p>Processa-se em toda a extensão da superfície, ocorrendo perda uniforme de espessura. Consiste na formação de uma camada visível e pouco aderente de óxido de ferro.</p> <p>Tipo de corrosão mais usual em estruturas metálicas mas menos perigosa por ser visível e facilmente detetável.</p>
Corrosão por picadas		<p>Consiste na formação de cavidades de pequena extensão e alguma profundidade. Tipo de corrosão localizada, habitual em estruturas metálicas protegidas, quando estas camadas protetoras são corrompidas em determinados locais.</p> <p>É um tipo de corrosão usual sobretudo em meios aquáticos e salinos e é altamente destrutiva.</p>
Corrosão em fendas		<p>Ocorre em pontos onde existe duas ou mais superfícies em contacto ou muito próximas entre si (0,025 a 0,1mm). Esta corrosão é usual em chapas sobrepostas, juntas rebitadas ou em revestimentos com chapas aparafusadas.</p> <p>É mais perigosa e impercetível que a corrosão uniforme atuando apenas numa área relativamente pequena da estrutura e afetando diretamente a secção transversal da chapa ou perfil metálico.</p>
Corrosão filiforme		<p>A corrosão processa-se sob a forma de finos filamentos, não profundos, que se propagam em diferentes direções sem se cruzarem. Ocorre por norma em superfícies metálicas revestidas com tintas ou com metais provocando o deslocamento do revestimento.</p> <p>É mais frequente em humidades relativas do ar superiores a 85% e em revestimentos mais permeáveis à penetração de oxigénio e água.</p>


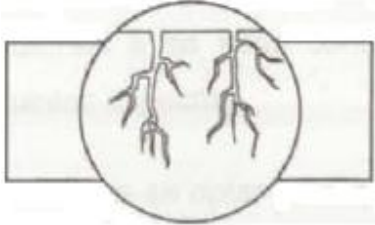
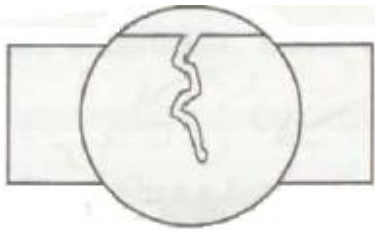
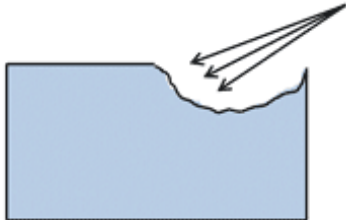
Quadro 3.9 – Tipos de corrosão eletroquímica – parte 2, [39], [52], [53] e [54]

Designação	Imagem	Descrição
Corrosão galvânica		Ocorre quando se utilizam diferentes metais em simultâneo devido à formação de uma pilha eletrolítica. Este tipo de corrosão é tanto maior quanto maior for a distância do material ao seu potencial eletroquímico. É bastante usual nas ligações aparafusadas e nas coberturas, mais precisamente na ligação entre telhas galvanizadas, ou de alumínio, com a estrutura.
Corrosão seletiva		Os processos corrosivos denominados de corrosão seletiva são aqueles em que ocorre a formação de um par galvânico devido a uma grande diferença de nobreza entre dois elementos de uma liga metálica. Os dois principais tipos de corrosão seletiva são a grafítica (usual no ferro fundido) e a deszincificação (usual nas ligas de zinco).
Corrosão intragranular		Ocorre nos grãos da rede cristalina do material metálico devido à difusão de espécies químicas dos grãos, originando fissuras. Estas fissuras podem crescer subitamente e criar enormes falhas dos materiais.
Corrosão biológica		Corrosão biológica ou biocorrosão, corresponde à deterioração de materiais metálicos em consequência da atividade de microrganismos vivos como bactérias, fungos e algas. Caracteriza-se por pequenas colónias de microrganismos que, dispersas sobre a superfície desses metais, produzem substâncias altamente corrosivas que consome parte do material metálico.
Corrosão por correntes parasitas		Corrosão usual em estruturas metálicas colocadas no subsolo ou imersas em água e é causada por correntes elétricas provenientes de fontes de corrente contínua ou alternada. Não é um tipo de corrosão espontânea, como os outros tipos de corrosão mas é induzido por fatores externos.

## 3.4.4.2. Corrosão influenciada por fatores mecânicos

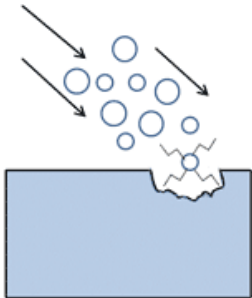
O Quadro 3.10 apresenta os tipos de corrosão influenciados por fatores mecânicos.

Quadro 3.10 – Tipos de corrosão influenciada por fatores mecânicos, [39], [52], [55], [56] e [57]

Designação	Imagem	Descrição
Fragilização pelo hidrogénio		Os átomos de hidrogénio produzidos durante o processo de corrosão têm grande capacidade de difusão em materiais metálicos. Assim o hidrogénio gerado na superfície do material migra para o interior e acumula-se em falhas existentes. O hidrogénio acumulado passa da forma atômica a molecular e provoca o aparecimento de altas pressões no interior da falha provocando a redução da tenacidade e da ductilidade da própria estrutura.
Corrosão sob tensão		Ocorre quando um material, submetido a tensões de tração (aplicadas ou residuais), é colocado em contato com um meio corrosivo específico, formando-se fissuras no material. A propagação da fissura por corrosão sob tensão é geralmente lenta, até atingir o tamanho crítico para uma rutura brusca.
Corrosão sob fadiga		Entende-se por fadiga, a progressão de uma fissura num material desde a superfície até à fratura, quando o material é submetido a solicitações mecânicas cíclicas. A fadiga tem início numa imperfeição superficial, ponto de concentração de tensões, e progride perpendicularmente à tensão. O processo corrosivo pode ser a causa do surgimento da fissura superficial por onde se inicia a fadiga. A associação dos dois fenómenos provoca um desgaste superior do material num menor número de ciclos do que se o fenómeno de fadiga ou corrosão ocorresse isoladamente.
Corrosão por vibração		Processo corrosivo associado ao fluxo turbulento de um líquido quando há redução na área de fluxo.
Corrosão-erosão		Entende-se por erosão, o desgaste mecânico provocado pela abrasão superficial de uma substância sólida, líquida ou gasosa. A corrosão provoca uma película de produto de corrosão que é removida pelo processo erosivo, expondo a superfície a novo desgaste corrosivo. O processo corrosivo é desta forma mais intenso e rápido quando combinado com a erosão.



Quadro 3.10 – Tipos de corrosão influenciada por fatores mecânicos – parte 2, [39], [52], [55], [56] e [57]

Designação	Imagem	Descrição
Corrosão-cativação		Entende-se por cativação, o fenómeno de desgaste que ocorre nas superfícies metálicas, provocado por ondas de choque do líquido, oriundas do colapso de bolhas gasosas. Nas zonas de baixa pressão, o fluido entra em ebulição formando bolhas que quando entram em contacto com as zonas de pressão mais elevadas, são destruídas instantaneamente formando as ondas de choque no líquido. Desta forma, a cativação destrói as películas de produtos de corrosão, expondo novamente o material ao desgaste corrosivo.

#### 3.4.4.3. Meios corrosivos

É muito importante a natureza do meio corrosivo que se encontra nas proximidades da superfície metálica. Desde os meios mais comuns como a atmosfera, as águas naturais, o solo e os produtos químicos até aos meios de menor escala como solventes orgânicos, madeiras e plásticos, todos possuem uma importante influência no processo corrosivo das estruturas metálicas, Figura 3.22.

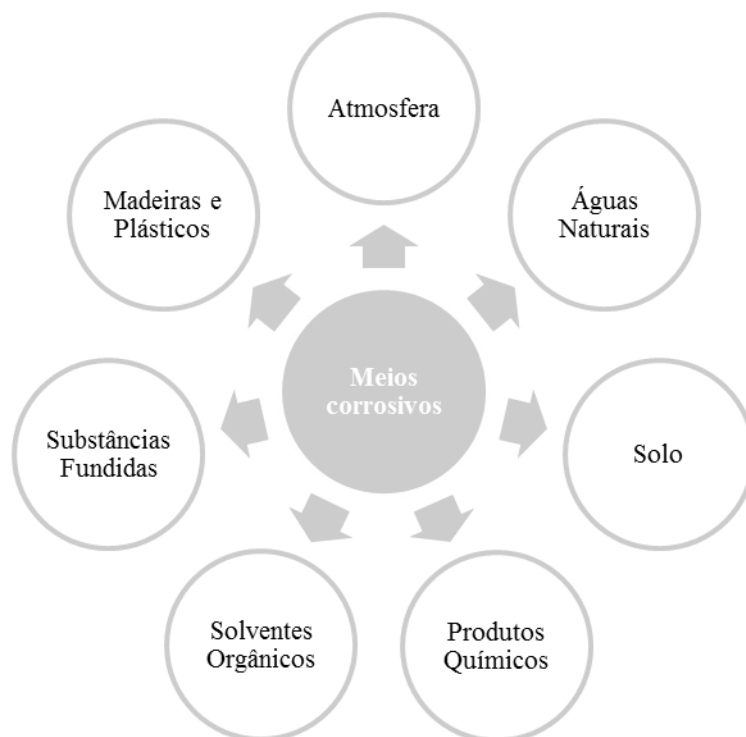


Fig. 3.22 – Meios corrosivos, adaptado de [52]

No âmbito desta dissertação é dada maior relevância aos meios mais importantes como é o caso da atmosfera e das águas naturais.



A ação corrosiva da atmosfera, com grande influência no processo corrosivo, depende de fatores como, [52]:

- Humidade relativa: grande influência na ação corrosiva visto que o ferro, a uma humidade relativa superior a 70% possui um processo corrosivo acelerado;
- Temperatura: se a temperatura for elevada, a possibilidade de condensação de vapor de água na superfície metálica irá ser menor, assim como a adsorção de gases minimizando a possibilidade de corrosão;
- Substâncias poluentes: além das partículas sólidas existentes na atmosfera sob a forma de poeiras, os gases influenciam a ação corrosiva;
- Fatores climáticos:
  - Intensidade e direção dos ventos: os ventos podem arrastar para as superfícies metálicas, agentes poluentes e névoa salina de grandes distâncias;
  - Variação cíclica de temperaturas e humidade: em função das estações de aquecimento, existe uma variação da produção de dióxido de enxofre derivado da queima do carvão utilizado nos sistemas de aquecimento;
  - Chuva;
  - Insolação: causa deterioração em películas de tinta à base de resina epóxi e ocasiona ataque no material plástico.

Dada esta grande influência dos diversos fatores atmosféricos na ação corrosiva Hudson, [58], classificou as diferentes atmosferas segundo a corrosão relativa de aço carbono, Quadro 3.11.

Quadro 3.11 – Corrosão relativa

Atmosfera	Corrosão relativa
Rural seca	1-9
Marinha	38
Industrial (Marinha)	50
Industrial	65
Industrial, fortemente poluída	100

Já as estruturas metálicas que se encontram em contacto com a água tendem a sofrer corrosão que está dependente do nível de pH, da temperatura, da velocidade e ação mecânica, e de substâncias contaminantes que esta pode ou não possuir. As substâncias mais frequentes são, [52]:

- Gases dissolvidos: oxigénio, nitrogénio, dióxido de carbono, cloro, amónia, dióxido de enxofre, trióxido de enxofre e gás sulfúrico;
- Sais dissolvidos: cloretos de sódio, cloretos de ferro e magnésio, carbonato de sódio, bicarbonatos de cálcio, bicarbonatos de magnésio e de ferro;
- Matéria orgânica de origem animal ou vegetal;
- Bactérias, algas;
- Sólidos suspensos.



# 4

## CASO DE ESTUDO

### 4.1. INTRODUÇÃO

O presente Capítulo tem como objetivo definir e caraterizar a zona que foi alvo de análise nesta dissertação e as estruturas que nela estão localizadas para uma posterior análise das patologias observadas.

Depois de reconhecida a zona alvo de estudo, foi elaborada uma caraterização completa desta, procedendo-se a uma descrição de alguns parâmetros climáticos como temperatura, precipitação, regime de ventos, nevoeiros e marés.

Posteriormente foi executada uma explicação da metodologia adotada para o estudo desenvolvido, distinguindo-se as estruturas analisadas como “edifícios” e “outras estruturas”.

Deve-se entender com a designação “estrutura” a sua envolvente exterior correspondente à que foi efetivamente analisado.

De modo a adquirir-se uma imagem do estado de conservação dos edifícios existentes na marginal da cidade do Porto, situados na Avenida Brasil, entre a Rua do Molhe e o Forte de São João Baptista da Foz, com o objetivo de se obter algumas ilações da relação do ambiente marítimo com possíveis patologias que se venham a registar, elaborou-se uma ficha de avaliação tipo. Para as “outras estruturas” foi efetuada uma análise direta recorrendo sobretudo a registos fotográficos.

Após a identificação e caracterização de todas estas estruturas localizadas na zona em estudo foi elaborada uma análise das patologias das mesmas procurando uma correlação com as patologias definidas no Capítulo 3 e os mecanismos de deterioração associados às zonas de exposição referidas no Capítulo 2.

Por último, é efetuada uma síntese da análise realizada.

### 4.2. DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ZONA EM ESTUDO

#### 4.2.1. DEFINIÇÃO DA ZONA EM ESTUDO

Nesta dissertação analisou-se a zona marítima da cidade do Porto nomeadamente a marginal entre o Forte de São João Baptista da Foz e o Molhe. Na Figura 4.1 apresenta-se uma imagem de satélite da zona costeira da cidade do Porto onde está definida a zona em estudo.



Fig. 4.1 – Localização da zona em estudo, [59]

Nesta zona efetuou-se o levantamento fotográfico dos edifícios localizados na primeira linha da praia bem como de outras estruturas existentes nas proximidades do mar ou mesmo em contacto com este.

Na Figura 4.2 a Figura 4.4 apresentam-se imagens das zonas que serviram de base para este estudo.

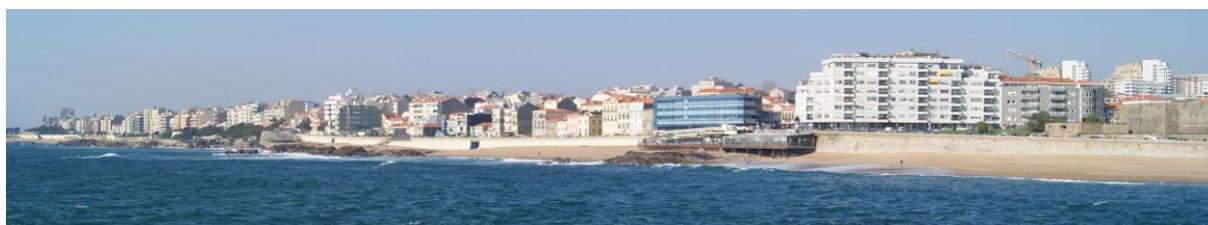


Fig. 4.2 - Vista geral da zona em estudo (fotografia do autor)



Fig. 4.3 – Vista geral 1 das estruturas estudadas, [60]



Fig. 4.4 - Vista geral 2 das estruturas estudadas, [61]

#### 4.2.2. CARACTERIZAÇÃO DA ZONA

Portugal faz parte da zona de clima mediterrâneo. A exposição da faixa territorial à ação do Atlântico encurta a duração de uma estação seca de Verão e suaviza a estação de Inverno.

A cidade do Porto, localizada junto à foz do rio Douro e com frente de mar, integra a chamada região norte atlântica com exposição a Oeste. Esta região é fortemente húmida, caracterizada por chuvas abundantes e em que são predominantes as influências oceânicas, [62].

Interessa, para enquadramento da zona em estudo (foz do Douro), estender a caracterização ao trecho de costa compreendido entre Leixões e Espinho. Trata-se de uma costa voltada aproximadamente a W-10°-S, com marés do tipo semidiurno de amplitude máxima de 4 m e onde incide um regime de agitação de grande energia, a que corresponde um transporte sólido potencial de N para S muito elevado, [63].

As fontes de alimentação sedimentar deste trecho enfraqueceram drasticamente nas últimas décadas, o que levou ao emagrecimento das suas praias e mesmo ao desaparecimento de parte delas. Todos estes fatores propiciam condições de especial agressividade sobre as estruturas construídas.

A temperatura e a precipitação foram estudadas de acordo com as normais climatológicas entre 1971 e 2000 disponíveis no endereço eletrónico do Instituto Português de Meteorologia (IPM). As normais climatológicas são, segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM), apuramentos estatísticos em períodos de 30 anos que começam no primeiro ano de cada década. Para se estudar as variações e as tendências do clima deve-se dispor de séries longas de dados, pois os valores médios caracterizadores do clima num dado local dependem do intervalo de tempo empregado, não apresentando os mesmos resultados quando se compara um ano com um decénio ou com um século. De acordo com o convencionado pela OMM, o clima é caracterizado pelos valores médios dos elementos climáticos num período de 30 anos, sendo este valor suficientemente longo para se admitir que ele representa o valor predominante daquele elemento considerado.

Por sua vez as marés foram estudadas através da atribuição dos níveis de referência definidos no Capítulo 2.2.4 e disponibilizados pelo Instituto Hidrográfico.

##### 4.2.2.1 Temperatura

Segundo as normais climatológicas entre 1971 e 2000, Figura 4.5, o Porto apresenta temperaturas médias compreendidas entre os 5°C e os 25°C. Em Janeiro verificam-se as temperaturas médias mais baixas, rondando os 5°C e em Julho e Agosto as mais altas, numa média de 25°C. Tendo a proximidade do Atlântico influência nestes valores, a temperatura média é de cerca de 14°C. Os valores extremos de temperatura não devem ser ignorados, visto existirem registos de dias com temperaturas inferiores a -3°C e de temperaturas máximas que atingem valores superiores a 38°C.

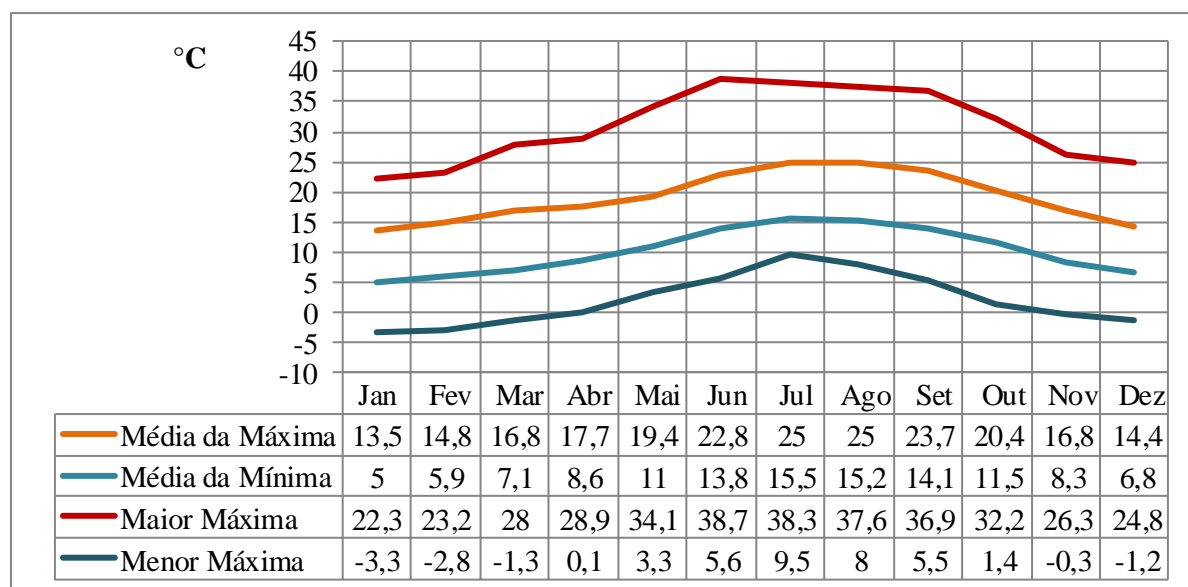


Fig. 4.5 – Normais da temperatura mínima e máxima do ar na cidade do Porto, [64]

#### 4.2.2.2. Regime pluviométrico

Segundo as mesmas normais climatológicas, Figura 4.6, o Porto apresenta precipitação média diária superior a 190 mm registando máximos diários superiores a 80mm.

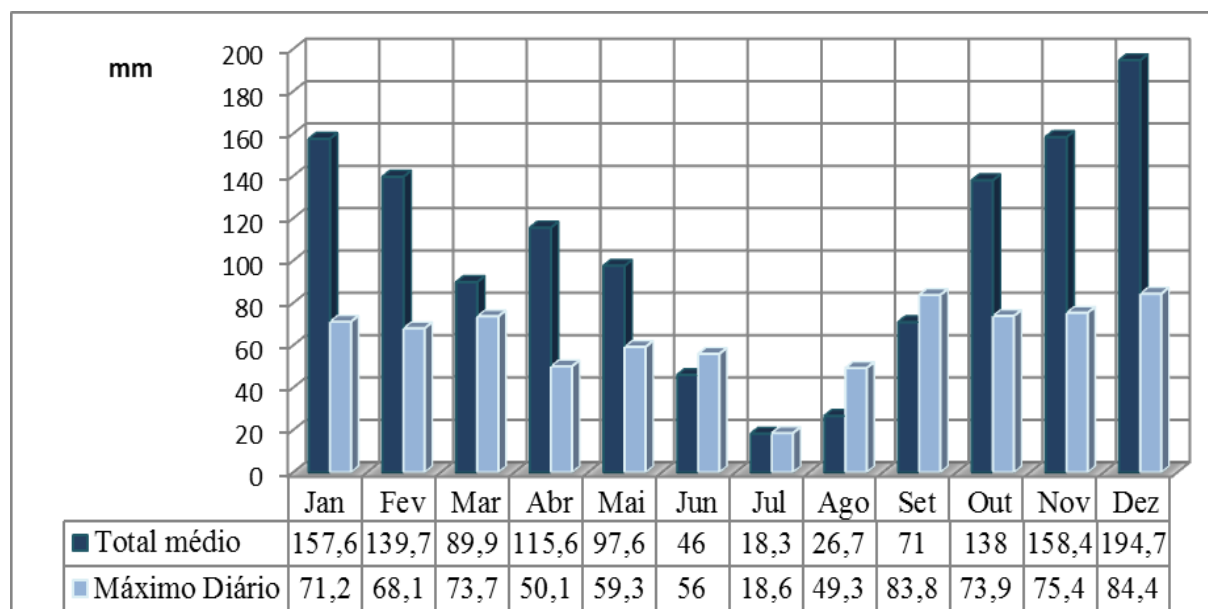


Fig. 4.6 - Normais dos valores da precipitação diária, [64]

A chuva abundante é imagem característica da cidade do Porto, principalmente nos meses de Outono e Inverno. O litoral é menos pluvioso que a zona alta da cidade.

A elevada precipitação tem explicação sobretudo na topografia da região. Mesmo nas áreas de baixa altitude, a rugosidade da superfície terrestre origina, no seio das massas de ar, turbulências que podem

provocar movimentos ascendentes e descendentes que, conforme as suas características, podem gerar ou não queda pluviométrica. Esta pluviosidade tem origem nas massas de ar provenientes do Atlântico funcionando o litoral como uma primeira barreira ao deslocamento destas, modificando as características térmicas e de humidade bem como a sua direção e velocidade, [62].

#### 4.2.2.3. Regime dos ventos

Uma caracterização dos ventos na zona, e na falta de elementos recolhidos no local, tem de se basear em elementos obtidos em estações meteorológicas próximas. Nestas condições encontram-se as seguintes estações definidas no Quadro 4.1.

Quadro 4.1- Estações meteorológicas, [63]

Estação	Localização		Tempo de registo
	Lat.	Long.	
Viana do Castelo	41° 42' N	8° 48' W	1951/80
Póvoa de Varzim	41° 23' N	8° 46' W	1941/50
Porto/ Pedras Rubras	41° 14' N	8° 41' W	1957/75
Porto/ Serra do Pilar	41° 08' N	8° 36' W	1951/80
S. Jacinto	40° 39' N	8° 44' W	1954/80

Atendendo a que o período de registo da estação de Póvoa de Varzim é substancialmente menor que o das outras estações, os resultados desta estação não serão utilizados na caracterização do regime de ventos na zona em estudo. As distribuições anuais de frequência e velocidade média para cada rumo, correspondentes às restantes quatro estações, encontram-se transcritas no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 - Distribuições anuais de frequência e velocidade média para cada rumo, [63]

Estação		Viana do Castelo	Pedras Rubras	Serra do Pilar	S. Jacinto
N	Frequência (%)	19,2	14,7	7,8	27,2
	Velocidade média (km/h)	10,2	14,8	18,5	18,2
NE	Frequência (%)	14,7	4,3	2,7	2,9
	Velocidade média (km/h)	8,2	9,1	13,7	12,8
E	Frequência (%)	12,2	20,0	22,4	5,4
	Velocidade média (km/h)	7,1	13,5	16,6	13,2
SE	Frequência (%)	8,2	6,8	10,4	8,0
	Velocidade média (km/h)	7,9	14,7	13,9	15,9
S	Frequência (%)	8,4	10,1	9,2	9,0
	Velocidade média (km/h)	12,2	22,7	23,0	22,5
SW	Frequência (%)	10,3	9,2	7,4	7,5
	Velocidade média (km/h)	11,4	17,6	20,1	21,7
W	Frequência (%)	8,8	11,9	14,7	8,1
	Velocidade média (km/h)	10,3	15,0	16,8	16,3
NW	Frequência (%)	13,2	16,8	22,0	15,5
	Velocidade média (km/h)	10,9	17,6	22,5	18,6

Estes valores permitem extrair as seguintes conclusões:

- Os valores dos sectores N, NE e NW representam cerca de 46% dos registos nas estações de Viana e S. Jacinto e cerca de 34% nas estações de Pedras Rubras e Serra do Pilar;
- Os ventos dos sectores E e W que nas estações de Viana e S. Jacinto representam somente cerca de 21 a 13% dos registos, nas estações de Pedras Rubras e Serra do Pilar representam entre 32 e 37%;
- Os ventos dos sectores S, SW e W capazes de gerar correntes marítimas no sentido de terra têm uma frequência entre 24,6% na estação de S. Jacinto e 31,3% na estação da Serra do Pilar.

#### 4.2.2.4. Nevoeiro

Segundo os registos do Observatório da Serra do Pilar, ocorrem nevoeiros em mais de 100 dias por ano, sendo mais frequentes no Verão. Formam-se ao longo do curso do rio Douro, sendo geralmente mais atenuados na foz.

No Quadro 4.3 está representada a distribuição mensal do número médio de dias com nevoeiro no período de 1941 a 1956, segundo registos de Leça da Plameira.

Quadro 4.3 - Distribuição mensal do número de dias com nevoeiro [63]

Período	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
1941-56	3.5	3.1	2.3	1.1	2.8	6.6	10.9	13.1	10.1	5.9	3.1	3.3	65.8

#### 4.2.2.5. Marés

As marés na costa noroeste de Portugal são do tipo semi-diurno, com amplitudes médias da ordem dos 2 m e máximas próximas dos 4 m.

Recorrendo às Tabelas de Maré publicadas pelo Instituto Hidrográfico relativas a 2011, obtiveram-se os valores médios anuais apresentados no Quadro 4.4, para os elementos de maré no porto de Leixões.

Quadro 4.4 - Elementos de marés, [65]

Porto	PM max.	PM AV	PM AM	NM	BM AM	BM AV	BM min.
Leixões	3.93	3.48	2.68	2.00	1.34	0.52	0.14

Um estudo efetuado pela APDL com base nas tabelas de marés entre 2004 a 2009, revela que cerca de 80% das preia mares atingem cotas entre +2,50 m (Z.H.) e +3,50 m (Z.H.), enquanto mais de 85% de baixa-mares atinge cotas situadas entre +0,50 m (Z.H.) e +1,50 m (Z.H.).

Conclui-se ainda, que a permanência de níveis de maré inferiores a +0,50 m (Z.H.) é reduzida, da ordem de 2% do tempo, o mesmo sucedendo para níveis superiores a +3,50 m (Z.H.). Durante mais de 75% do tempo o nível de maré está situado entre as cotas +1,00 m (Z.H.) e +3,00 m (Z.H.), [63].



### 4.3. METODOLOGIA DE ANÁLISE

Definida e caracterizada a zona de estudo, procedeu-se a um reconhecimento das estruturas com maior degradação aí localizadas. Posteriormente, essas estruturas foram descritas sumariamente e o seu estado de degradação foi analisado.

Com vista a sistematizar esse estudo efetuou-se uma divisão na análise de estruturas em edifícios e outras estruturas. Esta distinção é justificada pela diferença de procedimentos no processo de avaliação entre os edifícios e as restantes estruturas analisadas como molhes, acessos pedonais e estruturas construídas na praia.

#### 4.3.1. EDIFÍCIOS

Na zona em estudo foram contabilizados 102 edifícios entre os quais 11 estavam devolutos (Figura 4.7 e Figura 4.8) e 2 em construção (Figura 4.9 e Figura 4.10). Vistos os edifícios devolutos estarem mais vulneráveis a ações de vandalismo e outras degradações por causas fortuitas, estes não foram alvo de análise.



Fig. 4.7 - Edifício 1 devoluto (fotografia do autor)



Fig. 4.8 - Edifício 2 devoluto (fotografia do autor)



Fig. 4.9 - Edifício 1 em construção (fotografia do autor)

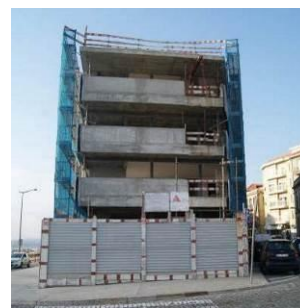


Fig. 4.10 - Edifício 2 em construção (fotografia do autor)

Dos 89 edifícios (excluindo os devolutos e os edifícios em construção), 16 apresentavam patologias dignas de registo sendo por isso alvo de análise. Para esta análise e de modo a obter-se uma imagem comparativa dos edifícios estudados elaborou-se uma ficha de avaliação tipo, Figura 4.11.

FICHA DE AVALIAÇÃO		REF.ª												
<b>INFORMAÇÃO GERAL</b>														
<div style="border: 1px solid black; height: 100px; width: 100%; background-color: #f2f2f2;"></div>	- Localização do Edifício _____ - Ano de Construção _____ - Nº de Pisos _____ - Caracterização Funcional _____ - Revestimento(s) da Fachada _____ - Caracterização da Cobertura _____ - Intervenções Anteriores _____ - Orientação do Edifício _____ - Observações _____ _____													
<b>CARACTERIZAÇÃO</b>														
- Identificação do Local _____ - Elemento(s) _____ - Materiais _____ - Tipo(s) de Anomalia(s) ou Patologia(s) associada(s) _____														
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Humidade</td> <td style="width: 33%;">Erosão</td> <td style="width: 33%;">Deformação</td> <td style="width: 33%;">Fendas</td> </tr> <tr> <td>Fissuras</td> <td>Corrosão</td> <td>Desprendimentos</td> <td>Oxidação</td> </tr> <tr> <td>Eflorescências</td> <td>Organismos</td> <td>Sujidade</td> <td></td> </tr> </table>			Humidade	Erosão	Deformação	Fendas	Fissuras	Corrosão	Desprendimentos	Oxidação	Eflorescências	Organismos	Sujidade	
Humidade	Erosão	Deformação	Fendas											
Fissuras	Corrosão	Desprendimentos	Oxidação											
Eflorescências	Organismos	Sujidade												
- Descrição da Anomalia e Observações _____ _____ _____														
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%; text-align: center;"> <table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">Sim</td> <td style="padding: 2px 5px;">Não</td> </tr> </table> </td> </tr> </table>				<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">Sim</td> <td style="padding: 2px 5px;">Não</td> </tr> </table>	Sim	Não								
	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">Sim</td> <td style="padding: 2px 5px;">Não</td> </tr> </table>	Sim	Não											
Sim	Não													
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 150px; background-color: #f2f2f2;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 150px; background-color: #f2f2f2;"></div> </div>														
Data __/__/__														

Fig. 4.11 - Ficha de Avaliação tipo

As fichas de avaliação são constituídas por duas partes fundamentais:

- Informação Geral;
- Caraterização.

Depois de uma simples definição da referência, para apoio da organização destas, as fichas de avaliação possuem uma primeira parte de cariz geral que tem como objetivo identificar e caracterizar o edifício em estudo, Figura 4.12.


INFORMAÇÃO GERAL	
	- Localização do Edifício
	- Ano de Construção
	- N° de Pisos
	- Caracterização Funcional
	- Revestimento(s) da Fachada
	- Caracterização da Cobertura
	- Intervenções Anteriores
	- Orientação do Edifício
	- Observações

Fig. 4.12 - Ficha de Avaliação - Informação Geral

Este campo, denominado de Informação Geral, além de possuir uma fotografia identificativa do edifício, reúne informações de carácter geral como a sua localização, o ano de construção, o número de pisos, a caracterização funcional, o revestimento da fachada, a caracterização da cobertura, a orientação do edifício e ainda um campo de referência a intervenções anteriores e um de observações.

A maioria destes campos foram preenchidos com base numa avaliação visual dos edifícios, à exceção dos campos:

- Ano de construção;
- Caracterização da cobertura;
- Intervenções anteriores.

A caracterização da cobertura foi efetuada através da visualização das habitações pelo software Google Earth. Por sua vez, o ano de construção e as intervenções anteriores foram conseguidos através da empresa Águas do Porto que permitiu a visualização dos projetos das especialidades das habitações em causa.

Infelizmente, não foi possível encontrar os projetos de todos os edifícios, ficando alguns deles sem informações cronológicas do ano de construção e de possíveis intervenções.

O segundo campo da ficha, intitulado de Caracterização pretende transmitir uma descrição o mais completa possível da análise visual efetuada à(s) anomalia(s), reunindo toda a informação relevante acerca desta. Através do preenchimento deste campo é possível referir a localização da anomalia na fachada do edifício bem como o elemento e o material em que esta se verifica. Existe também um campo de definição do(s) tipo(s) de anomalia(s) ou patologia(s) associada(s) e outro de descrição da mesma com a especificação da existência ou não de elementos metálicos. Todos estes campos são preenchidos com base em informação visual e elucidados por fotografias, Figura 4.13.

CARACTERIZAÇÃO							
- Identificação do Local							
- Elemento(s)							
- Materiais							
- Tipo(s) de Anomalia(s) ou Patologia(s) associada(s)	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> Humidade <input type="checkbox"/>  Fissuras <input type="checkbox"/>  Eflorescências <input type="checkbox"/> </div> <div> Erosão <input type="checkbox"/>  Corrosão <input type="checkbox"/>  Organismos <input type="checkbox"/> </div> <div> Deformação <input type="checkbox"/>  Desprendimentos <input type="checkbox"/>  Sujidade <input type="checkbox"/> </div> <div> Fendas <input type="checkbox"/>  Oxidação <input type="checkbox"/> </div> </div>						
- Descrição da Anomalia e Observações	<div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 15px;"></div>						
- Elementos metálicos	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">Sim</td> <td style="padding: 2px 5px;">Não</td> </tr> <tr> <td style="height: 20px;"></td> <td style="height: 20px;"></td> </tr> </table>	Sim	Não				
Sim	Não						
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 100px; background-color: #d3d3d3;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 100px; background-color: #d3d3d3;"></div> </div>							
Data <input style="width: 20px;" type="text"/> / <input style="width: 20px;" type="text"/> / <input style="width: 20px;" type="text"/>							

Fig. 4.13 - Ficha de Avaliação – Caracterização

O campo de definição do(s) tipo(s) de anomalia(s) e patologia(s) associada(s) utiliza termos que se tornam importantes distinguir, Quadro 4.5.

Quadro 4.5 - Tipos de anomalias, [39]

Tipo de anomalia	Descrição
Humidade	Quantidade de água acima da tolerável, num material ou elemento construtivo
Erosão	Perda ou alteração/decomposição superficial de um material
Deformação	Alteração da forma, sofrida pelos elementos estruturais, como consequência de ações mecânicas (encurvadura, abaulamento, deslocamentos)
Fendas	Abertura longitudinal incontrolada de um elemento construtivo, que o abrange em toda a espessura
Fissuras	Abertura longitudinal incontrolada de um elemento construtivo, que o abrange apenas na sua camada superficial
Corrosão	Perda progressiva de partículas superficiais do elemento metálico
Desprendimentos	Separação entre materiais que compõem a estrutura
Oxidação	Transformação em óxido da superfície dos metais, em contacto com o oxigénio
Eflorescências	Cristalização dos sais solúveis na superfície de um determinado elemento construtivo
Organismos	Podem surgir na forma de animais (xilófagos) ou vegetais (bolores e fungos)
Sujidade	Depósito de partículas em suspensão na atmosfera sobre a superfície, ou a sua penetração nos poros superficiais, de um elemento estrutural

No final da ficha de avaliação existe também um campo para preenchimento da data da observação efetuada. É uma informação relativa à própria inspeção mas bastante importante para o acompanhamento do desenvolvimento de anomalias.

#### 4.3.2. OUTRAS ESTRUTURAS

Além da análise dos edifícios existentes na zona em estudo, foram avaliados 2 molhes, 1 acesso pedonal (escada) e 2 espaços de restauração construídos na areia.

São estruturas que pelo seu estado de degradação ou situação de exposição aos agentes agressivos do ambiente marítimo mereceram a atenção do autor. Para estas estruturas não foram realizadas fichas de avaliação, mas foi feito um completo registo fotográfico, uma basta recolha de informação, assim como várias anotações das principais patologias verificadas para posterior análise.

#### 4.4. IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS ANALISADAS

No total foram analisados 16 edifícios, 2 molhes, 1 acesso pedonal e 2 estruturas localizadas no areal da praia perfazendo um total de 21 estruturas. A localização exata de todas as estruturas estudadas encontra-se definida na Figura 4.14, estando o acesso pedonal (escada) sinalizado com a sigla AP, os molhes com a letra M, os edifícios sinalizados com a letra E e as estruturas localizadas na praia com a sigla EP.



Fig. 4.14 - Identificação das estruturas estudadas, [59]

#### 4.4.1. EDIFÍCIOS

Os edifícios estudados, Figura 4.15 e Figura 4.16, são edifícios de habitação, possuindo alguns deles comércio no rés-do-chão. São edifícios com exposição a sudoeste e que distam em média 9 metros da linha da praia. A caracterização completa destes encontra-se no campo “Informação Geral” das “Fichas de Avaliação” realizadas presentes em Anexo.



Fig. 4.15 – Edifícios estudados 1 (fotografia do autor)



Fig. 4.16 – Edifícios estudados 2 (fotografia do autor)

#### 4.4.2. MOLHES

Após uma primeira análise geral dos três molhes existentes na zona em estudo, optou-se por restringir o estudo aos dois molhes existentes na zona terminal do estuário do Douro. O terceiro molhe não foi alvo de análise, visto não apresentar sinais de deterioração assinaláveis, ser o mais pequeno e não possuir grande utilização por parte do público.

Os dois molhes estudados, M1 e M2, são estruturas com distintos períodos de vida útil, métodos construtivos e materiais utilizados, dimensões e funções que possuem.

O designado M1 é o molhe Norte dos molhes do Douro, uma estrutura vertical construída em 2009 como uma articulação a um outro antigo molhe já ali existente. Possui cerca de 350 metros de comprimento e uma orientação ligeiramente mais rodada para sul do que o M2, [66].



Esta estrutura tem o objetivo de garantir a adequabilidade do acesso marítimo e a limitação dos níveis de agitação sobre a marginal. Mas para além dos fins principais para que foi construído, este molhe é também considerado um passeio público, como demonstra a Figura 4.17 e a Figura 4.18, tornando-se uma “varanda” sobre o mar acessível a todos para a prática de várias atividades, [67].

A solução construtiva utilizada para o M1 recaiu sobre elementos prefabricados de betão armado, como aduelas e caixotões colocados por via marítima. Foram colocados lado a lado, 16 caixotões de grande dimensão (16x15x15 m), betonando-se a nova estrutura vertical contra o fundo rochoso, [67].

Este molhe possui na cabeça um farol, representado em corte e uma galeria interior de acesso a este.

Não há registo de operações de manutenção desde a inauguração do molhe.



Fig. 4.17 - Vista geral do Molhe 1 (fotografia do autor)



Fig. 4.18 – Atividade lúdica habitual no Molhe 1 (fotografia do autor)

O M2 é o Molhe de Felgueiras construído em 1790. Possui a forma retangular alongada e uma secção trapezoidal, Figura 4.19 e Figura 4.20. O seu topo, local onde está localizado um farolim, tem a forma circular.

O molhe e o farolim foram construídos em alvenaria de granito aparente. O molhe, com um comprimento de cerca de 240 m, possui do lado norte um murete de proteção que se estende pela extremidade circular envolvendo o farolim. Do lado Sul existem duas escadas de acesso ao mar, e entre estas existe uma guarda de ferro pintada a vermelho.

O farolim construído em 1886 é uma torre hexagonal com rebordos curvos e retos na sua base que se alongam por um fuste liso e facetado rematado por um ábaco. Sobre este ábaco existe também uma guarda metálica pintada que tem como objetivo proteger a campânula de proteção da aparelhagem ótica. Existe um pequeno edifício anexo ao farolim que possui as paredes rebocadas e pintadas assim como a sua cobertura em forma de abóbada. Este edifício, de planta retangular possui uma porta de acesso em ferro pintado de vermelho e uma soleira de granito, [68].

Em 2004 existiu uma operação de manutenção de M2, que consistiu numa operação de refechamento de juntas.



Fig. 4.19 - Vista aérea do Molhe 2, [68]



Fig. 4.20 – Vista geral do Molhe 2 (fotografia do autor)

#### 4.4.3. ACESSO PEDONAL

O AP, acesso pedonal, não é mais do que uma escada integrada na Pérgola da Foz. Foi construída em betão armado por volta de 1930, integrada no Projeto de Melhoramentos e Embelezamento da Avenida Brasil elaborado pela Câmara Municipal do Porto. Entretanto já existiram obras de requalificação em 2008 [69]. Na Figura 4.21 é visível a proximidade desta estrutura ao mar.



Fig. 4.21 – Acesso pedonal em estudo (fotografia do autor)

#### 4.4.4. ESTRUTURAS LOCALIZADAS NA PRAIA

A EP's, Figura 4.22 e Figura 4.23, são estruturas construídas na praia a poucos metros do mar e por vezes em contacto direto com o mar. Foram analisadas duas estruturas deste género.

A EP1 é um espaço de restauração com uma área aproximada de 800 m<sup>2</sup> construído maioritariamente em madeira, mas também com fundações em estrutura metálica e em betão.

A EP2 é também um espaço de restauração, com uma área de 300 m<sup>2</sup>, maioritariamente construído com perfis metálicos e com fundações em betão armado.





Fig. 4.22 – Estrutura localizada na praia 1 (fotografia do autor)



Fig. 4.23 – Estrutura localizada na praia 2 (fotografia do autor)

#### **4.5. ANÁLISE DAS ESTRUTURAS**

Neste Subcapítulo é elaborado a análise das estruturas definidas anteriormente com o objetivo de perceber a influência do ambiente marítimo na degradação destas.

Efetua-se uma inspeção visual aos elementos constituintes das estruturas realizando-se, simultaneamente, um conjunto de fotografias, algumas das quais apresentadas na presente dissertação, de modo a constituir um testemunho do seu estado à data de elaboração deste documento.

Ressalva-se no entanto o facto de a parte submersa de algumas estruturas em análise não ter sido alvo de observação, pelo que poderão existir nas estruturas outras patologias não mencionadas nesta dissertação.

Além da caracterização do estado de degradação das estruturas através da análise visual, procurou-se definir as patologias encontradas de acordo com o apresentado no Capítulo 3. Foram também definidas as zonas de exposição a que as estruturas estavam sujeitas e os respetivos mecanismos de degradação de acordo com o Capítulo 2.

Tendo sido recolhidas um conjunto de fotografias das zonas onde as patologias se manifestam, a descrição destas será complementada com a ilustração fotográfica das mesmas.

##### **4.5.1. EDIFÍCIOS**

Os 16 edifícios estudados encontram-se inseridos na zona atmosférica marítima. São estruturas que embora não possuam um contacto direto com o mar, encontram-se sujeitas à ação de sais transportados pelo vento. A água do mar lançada para o ar após a rebentação das ondas e transportada pelo vento provoca o nevoeiro salino que funciona como catalisador de patologias nos edifícios.

Estas patologias/anomalias encontram-se registadas e definidas nas fichas de avaliação dos respetivos edifícios, no Anexo. O Quadro 4.6 apresenta os tipos de anomalias identificados.

Importa referir que a análise efetuada aos edifícios foi apenas exterior pelo que as patologias aqui referidas são exclusivamente relativas aos elementos que constituem as suas fachadas.

Quadro 4.6 -Tipos de anomalias registadas

Ref.	Humidade	Erosão	Deformação	Fendas	Fissuras	Corrosão	Desprendimentos	Oxidação	Eflorescências	Organismos	Sujidade
E1	x	x		x	x	x		x		x	x
E2					x	x		x			
E3	x		x				x				
E4	x	x		x	x	x	x	x		x	x
E5	x	x								x	x
E6		x			x		x	x			x
E7	x	x			x		x	x			x
E8	x						x				
E9	x	x			x	x		x		x	
E10	x	x			x			x	x		
E11	x							x			
E12	x				x	x		x			x
E13	x				x			x			
E14	x				x	x	x	x	x		x
E15	x	x		x	x	x	x	x			
E16	x				x	x		x	x		

A Figura 4.24 ilustra um gráfico representativo do número do tipo de anomalias registadas no universo de edifícios observados.

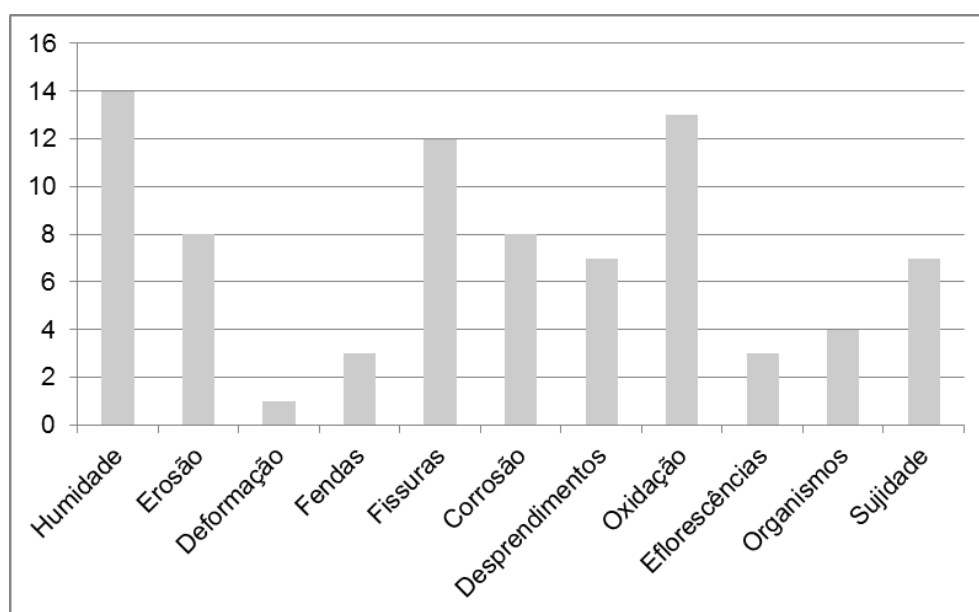


Fig. 4.24 - Gráfico comparativo do número de tipo de anomalias encontradas

Como se pode verificar na Figura 4.24, a humidade, as fissuras e a oxidação foram os principais tipos de anomalias registados nos edifícios em estudo. São também estas algumas das patologias mais associadas ao ambiente marítimo e por esse motivo irão ser expostos os casos exemplificativos mais graves de cada uma dessas anomalias.

A humidade, encontrada em 14 casos foi registada nos mais diversos materiais como pedras, rebocos, madeiras, mármore e cerâmicos. A quantidade de água em excesso nestes materiais manifesta-se sobretudo sob a forma de manchas (Figura 4.25 e Figura 4.26) e escorrências (Figura 4.27).



Fig. 4.25 – Mancha de humidade,  
E3



Fig. 4.26 – Mancha de humidade,  
E16



Fig. 4.27 – Escorrência, E4

Em 16 edifícios com elementos metálicos apenas 2 não apresentam marcas de oxidação. Conforme ilustrado nas Figura 4.28 a Figura 4.30, as manchas de óxido são visíveis não só na superfície dos elementos metálicos, mas também na superfície de outros materiais, fruto da escorrência destas manchas.



Fig. 4.28 -Manchas de oxidação,  
E2



Fig. 4.29 – Manchas de oxidação,  
E12



Fig. 4.30 – Manchas de oxidação,  
E9

As aberturas longitudinais incontroladas de elementos construtivos, ao qual se dá o nome de fissura se abranger apenas a camada superficial, e fendas se abranger toda a espessura do elemento, foram também identificadas na maior parte dos edifícios e nos mais diversos materiais. A Figura 4.31 ilustra uma fenda de grandes dimensões no peitoril de uma janela de madeira, a Figura 4.32 a fissuração de elementos em consola de betão armado e a Figura 4.33 a fissuração em volta de um elemento metálico visivelmente oxidado numa superfície em mármore.



Fig. 4.31 – Fendilhação, E1

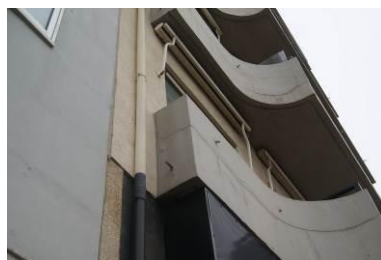


Fig. 4.32 – Fissuração, E13



Fig. 4.33 – Fissuração, E16

A fissuração e a fendilhação dos elementos construtivos estão, em grande parte dos casos registados, ligadas às ocorrências de oxidação e corrosão de elementos metálicos.

Na Figura 4.34 é visível a grande corrosão da guarda metálica do edifício E4, que além de ter destruído partes da guarda provocou a fendilhação do muro em que esta está apoiada.

Na zona ilustrada na Figura 4.35, são visíveis os varões utilizados na estrutura da janela expostos sem a camada de betão que os deveria envolver e proteger da corrosão, especialmente por efeito da passivação.



Fig. 4.34 - Corrosão de guarda metálica, E4



Fig. 4.35 – Corrosão de armadura, E15

#### 4.5.2. OUTRAS ESTRUTURAS

##### 4.5.2.1. Molhe 1

A solução construtiva utilizada para a superestrutura do M1 desenvolveu-se a cotas relativamente baixas, facilmente galgáveis em dias de tempestade. Esta opção faz reduzir imenso as forças de impacto das ondas sobre a estrutura resistente mas por outro lado, propicia um constante contacto de todas as partes do molhe com a água do mar.

A estrutura está assim sujeita a 3 zonas de exposição, dependendo da posição relativa ao nível da água:

- Zona de rebentação;
- Zona entre marés;
- Zona submersa.

Na análise efetuada a esta estrutura, não foi possível estudar a zona submersa, mas foi possível avaliar o estado de degradação e os agentes agressivos do molhe na zona de rebentação e na zona entre marés.



Nestas duas zonas de exposição o betão está sujeito a ciclos de molhagem e secagem pela água do mar, provocando constantes diferenças de temperatura e humidade. Mas o facto de o M1 possuir uma baixa cota faz com que o tempo de molhagem do betão seja superior ao tempo de secagem em grande parte da estrutura, encontrando-se o betão saturado a maior parte do tempo.

Este acontecimento cria condições para o desenvolvimento do ataque químico e biológico do betão.

Os ataques biológicos causados por organismos foram precisamente os mais registados na análise do M1. Grande parte do betão encontra-se coberto por organismos marinhos como algas e crustáceos, Figura 4.36 a Figura 4.40. A presença destes organismos vivos, de origem animal (crustáceos) e de origem vegetal (algas), afetam a superfície do betão, quer pela simples presença, quer pelo ataque ao mesmo, quer pelos produtos químicos que produzem.

O processo patológico dos agentes biológicos é fundamentalmente químico. O desenvolvimento de microrganismos nos elementos de betão forma o ácido húmico responsável por atacar a pasta de cimento e, por consequência, provocar a deterioração do betão, Figura 4.41.

Por outro lado, a retenção de humidade visível na Figura 4.36 e Figura 4.37, também pode provocar o aumento de deterioração por reação com os elementos constituintes do betão. O ataque químico aos componentes da pasta de cimento pela água do mar resulta da interação entre os vários produtos constituintes da pasta e um grande número de iões presentes na água. Esta interação conduz a vários tipos de reações químicas que causam a deterioração do betão.

A desagregação do betão associado à lixiviação provocada por agentes químicos e biológicos bem como a alteração de cor e aspeto do betão são as principais patologias observadas por toda a estrutura do M1. São ainda visíveis cavidades e fissuras no betão.

As cavidades encontradas um pouco por todo o molhe são provavelmente fruto do processo de cativação provocado pela turbulência da água do mar, Figura 4.38. Por sua vez, as fissuras encontradas, em menor número que as cavidades, podem ter explicação nos ciclos de variação de temperatura e humidade, um fenómeno físico associado à expansão e retração da estrutura que provoca deformações restringidas.



Fig. 4.36 – Fachada Norte de M1



Fig. 4.37 – Deterioração do betão de M1



Fig. 4.38 – Patologias de M1



Fig. 4.39 – Agentes biológicos de M1

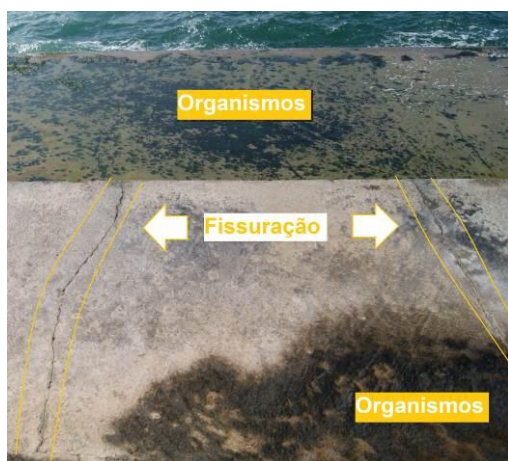


Fig. 4.40 – Patologias 2 de M1



Fig. 4.41 – Deterioração 2 do betão de M1

#### 4.5.2.2. Molhe 2

O M2 é o molhe de Felgueiras que possui mais de dois séculos de existência. Este molhe já teve durante o seu período de vida útil algumas operações de manutenção, sendo a última uma operação de refechamento de juntas há cerca de oito anos, apresentando-se por isso, num estado geral de conservação satisfatório.

Porém, nem todas as estruturas constituintes do molhe apresentam o mesmo estado de degradação. Por este motivo e por simplificação do processo de análise de patologias, optou-se por dividir M2 em:

- Estrutura principal do molhe;
- Dispositivo de segurança;
- Farolim e edifício anexo;

Compreende-se por estrutura principal do molhe, a superestrutura do molhe sem considerar quaisquer outros elementos que este contenha, Figura 4.42. Por dispositivo de segurança entende-se a guarda

metálica existente no molhe como meio de proteção de utilizadores deste. Por farolim e edifício anexo entendem-se as duas estruturas localizadas na cabeça do molhe.

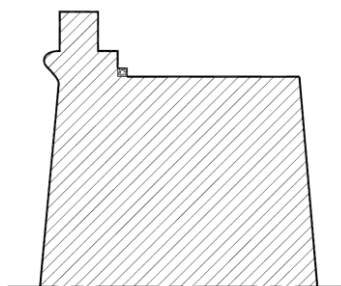


Fig. 4.42 - Corte da Estrutura principal do molhe, M2

A estrutura principal do molhe está sujeita às mesmas zonas de exposição de M1 e à semelhança deste também não foi efetuado a análise da estrutura na zona submersa. Neste sentido, desenvolveu-se uma análise em duas das três zonas de exposição a que a estrutura principal está sujeita:

- Zona de rebentação;
- Zona entre marés;

Nestas duas zonas de exposição a alvenaria de granito aparente está submetida a ciclos de molhagem e secagem pela água do mar o que sujeita este material a constantes diferenças de temperatura e humidade.

As alternâncias de temperatura são vistas como ações mecânicas devido às alterações de volume que provocam como resultado das dilatações e das contrações do material que podem provocar a rotura do granito. As diferenças de temperatura entre a superfície e o interior da pedra originam movimentos térmicos diferentes, provocando tensões, que no limite, podem provocar a separação superficial da camada superior da rocha.

Por sua vez, a presença de humidade contida nos poros e a solubilidade dos sais e gases, aceleram as reações químicas facilitando a hidrólise.

O constante contacto da estrutura com a água do mar quer na zona de rebentação, quer na zona de entre marés é um dos aspetos mais gravosos a ter em conta, visto este tipo de contacto ser uma das principais causas de degradação destas estruturas. A infiltração da água ocorre através de fendas e vazios existentes na alvenaria, que são consideradas as zonas mais frágeis da estrutura. Normalmente o seu percurso é feito através das juntas de argamassas, entre as pedras.

A ascensão da água pelas paredes (através do contacto direto com a água do mar) provoca a alteração da estrutura interna da parede, uma vez que vai dissolvendo os sais solúveis existentes. Quando atinge as condições ideais (nível de humidade e temperatura), dá-se a sua evaporação e, consequentemente, existe deposição dos referidos sais à superfície. Surgem assim as eflorescências ilustradas na Figura 4.43. Nesta situação em particular, tratando-se da água do mar surgem uma série de reações químicas (de dissolução) que aumentam os efeitos de degradação no granito.

Conforme o ilustrado na Figura 4.43, além das eflorescências, existem marcas de colonização biológica na superfície do granito. Esta colonização manifesta-se sobretudo pelo desenvolvimento de musgos e algas.





Fig. 4.43 - Tipos de degradação encontrados na cabeça do molhe (estrutura principal)

O fenómeno das eflorescências, cristalizações de minerais de sais solúveis sobre a superfície das pedras, além de ter sido registado nas paredes do molhe, foi também encontrado na ligação deste com as guardas metálicas (dispositivo de segurança), como é visível na Figura 4.44 e na Figura 4.45.

Esta zona além das marcas de cor branca apresenta-se bastante deteriorada.

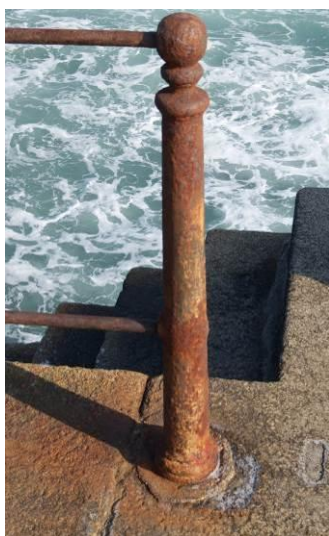


Fig. 4.44 – Cristalização de sais à superfície

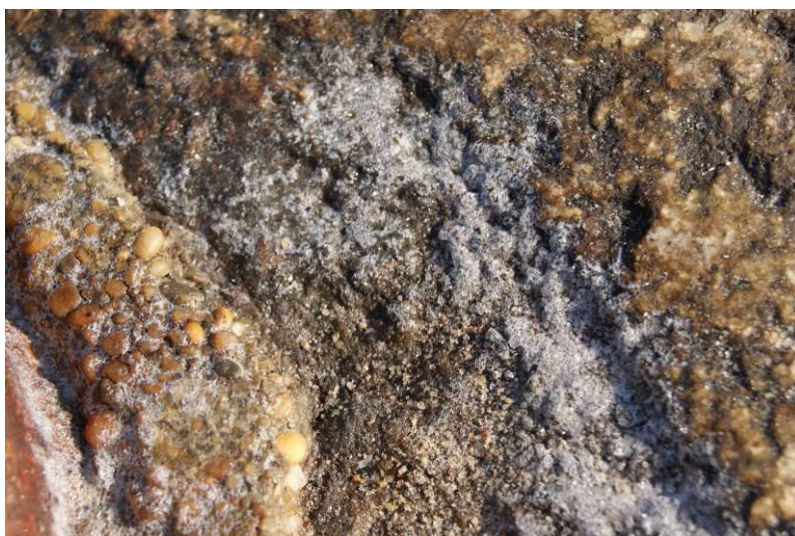


Fig. 4.45 – Pormenor da cristalização de sais

Devido à forte corrosão da referida guarda metálica, as paredes do molhe encontram-se com manchas de oxidação por toda a sua extensão como é ilustrado na Figura 4.46 a Figura 4.48.





Fig. 4.46 - Fachada Sul do M2

O dispositivo de segurança consiste numa já referida guarda de ferro pintada a vermelho existente entre as duas escadas de acesso ao mar que o molhe possui do lado sul. A zona de exposição a que esta guarda se encontra sujeita é a zona de rebentação.

Embora, na Figura 4.47 seja visível que o dispositivo não sofre o impacto direto das ondas do mar, esta fotografia foi registada num período de baixa-mar, ou seja, em períodos de preia-mar a guarda metálica irá sofrer os processos de deterioração característicos da zona de rebentação.



Fig. 4.47 - Ação da maré sobre M2



Fig. 4.48 – Dispositivo de proteção do M2

A guarda de ferro encontra-se visivelmente afetada pela corrosão, não possuindo a película de tinta vermelha que a protegia. Nas Figura 4.49 a Figura 4.51, são apresentados alguns exemplos das manifestações de corrosão mais gravosas. Como é visível na Figura 4.52 e Figura 4.53, as guardas encontram-se danificadas, não oferecendo já a proteção aos utilizadores que é desejada.

Na observação pormenorizada da estrutura, notam-se pequenas cavidades, pelo que se tratará do tipo de corrosão localizada por picadas, característica dos meios aquáticos e salinos. Este tipo de corrosão é altamente destrutiva e tratando-se de um dispositivo de segurança com bastante utilização será necessário um maior cuidado em operações de manutenção e reparação da estrutura.



Fig. 4.49 – Zona de corrosão 1

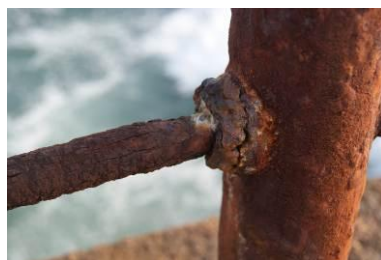


Fig. 4.50 – Zona de corrosão 2

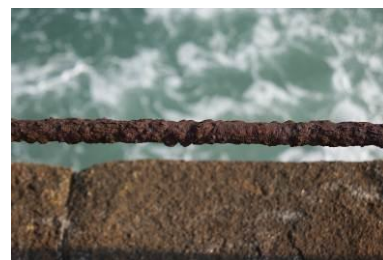


Fig. 4.51 - Zona de corrosão 3

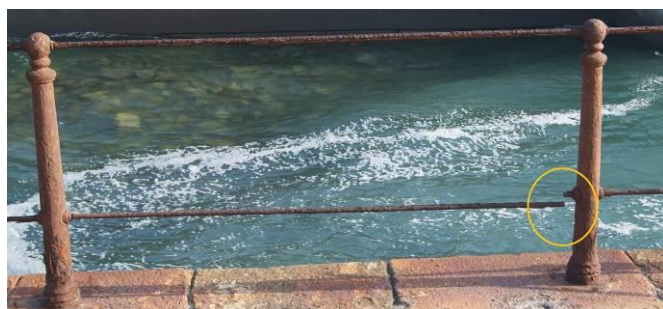


Fig. 4.52 – Zona de rotura da guarda metálica

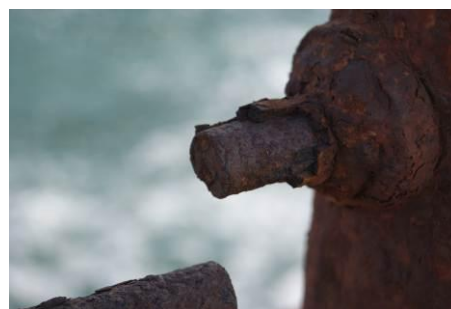


Fig. 4.53 - Pormenor da zona de rotura

O farolim, Figura 4.54, construído cerca de um século após o molhe, possui em seu redor, um murete de proteção em relação às ondas do mar que se torna insuficiente em dias de maior agitação marítima, acabando este por sofrer o seu impacto direto. Por este motivo a zona de exposição a que o farolim e o seu edifício anexo se encontram expostos é a zona de rebentação.

Os ciclos de molhagem e secagem experimentados pelos materiais nesta zona de exposição potenciam a sua deterioração, e no caso de elementos metálicos, aumentam a velocidade de corrosão. A corrosão foi de facto, a principal patologia identificada nestas estruturas.

Como é visível na Figura 4.57 e na Figura 4.58, as guardas de ferro das janelas do edifício anexo ao farolim encontram-se bastante corroídas tendo já perdido a sua original camada protetora de tinta vermelha.

A Figura 4.58 ilustra as pequenas cavidades típicas da corrosão localizada por picadas. Este fenómeno de corrosão além de ser responsável pela destruição das guardas das janelas é também a causa das manchas das paredes no edifício anexo, Figura 4.55.

A alteração cromática do granito no farolim, visível na Figura 4.56, tem origem na corrosão das guardas metálicas que protegem a campânula de proteção da aparelhagem ótica do farolim.



Fig. 4.54 –  
Farolim



Fig. 4.55 - Edifício anexo ao farolim



Fig. 4.56 – Parte superior do farolim



Fig. 4.57 – Guardas da janela do edifício  
anexo ao farolim



Fig. 4.58 – Pormenor da corrosão da guarda

#### 4.5.2.3. Estrutura 1 localizada na praia

A EP1, Figura 4.59, é uma estrutura localizada na praia, estando por esse motivo, de alguma forma, desprotegida da ação do mar e da rebentação mais violenta que pode ocorrer em dias de tempestade. Apesar disso a estrutura apresenta um estado geral de conservação razoável.



Fig. 4.59 - Estrutura 1 localizada na praia



Embora com uma conjugação de materiais, esta estrutura está construída predominantemente em madeira, apresentando também perfis metálicos e fundações em betão armado, sendo os elementos metálicos os mais deteriorados.

Num total de 15 fundações diretas em estrutura metálica, 3 estão totalmente corroídas sendo estas as exteriores expostas a sul. Porém, todos os elementos metálicos têm pelo menos 40% da sua superfície corroída, Figura 4.60. Nestes elementos observam-se cavidades de pequena extensão mas com alguma profundidade apontando para uma corrosão localizada por picadas características em meios aquáticos e salinos em elementos metálicos protegidos, quando estas camadas protetoras são corrompidas em determinados locais.

A Figura 4.61 demonstra o aparafusamento de um perfil metálico numa sapata de betão armado. O betão desta fundação encontra-se bastante deteriorado e fissurado, apresentando uma alteração cromática superior a 80% da sua superfície.

Por sua vez a madeira utilizada na EP1, apresenta em geral um bom estado de conservação. São visíveis alterações cromáticas na madeira mas sem modificação perceptível das propriedades mecânicas o que aponta para uma podridão incidente característica em madeiras húmidas ou com elevados teores de humidade, Figura 4.63. As fundações em madeira não possuem marcas de deterioração e a situação mais gravosa deste material é o desprendimento de um contraplacado com origem provável na corrosão do prego utilizado na pregagem da madeira, Figura 4.62.



Fig. 4.60 - Perfil metálico



Fig. 4.61- Perfil metálico aparafusado em sapata

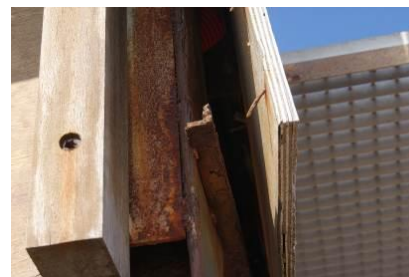


Fig. 4.62 – Pormenor de corrosão 1



Fig. 4.63 - Pormenor de corrosão 2

#### 4.5.2.4. Estrutura 2 localizada na praia

À semelhança da estrutura EP1, a estrutura 2 está situada a poucos metros do mar. Esta situação leva a que os elementos construtivos de cota inferior sofram por vezes o impacto direto das ondas.

A EP2 possui pavimento em madeira, assente sobre perfis metálicos que por sua vez estão ligados a pilares de betão armado.

A zona mais deteriorada da EP2 é sem dúvida a zona inferior da estrutura que é por sua vez, a zona mais esforçada mecanicamente mas também a que apresenta maior probabilidade de contacto direto

com a água do mar. Todos os materiais (madeira, metal e betão) utilizados na construção desta estrutura estão bastante deteriorados apresentando danos característicos do ambiente marítimo.



Fig. 4.64 – Estrutura inferior do EP2

A madeira utilizada no pavimento da estrutura apresenta em toda a sua superfície um aspeto esverdeado e humedecido atribuído, provavelmente, pela presença de fungos ou outra substância orgânica, Figura 4.64. Esta presença de bolores prende-se sobretudo com formações vegetativas e reprodutivas de fungos (hifas e esporos) que crescem na superfície da madeira excessivamente húmida. A consequência do aparecimento desta anomalia é a sujidade das peças, que pode ser removida através de escovagem ou aplainamento.

Os perfis metálicos usados como suporte do pavimento, encontram-se oxidados e corroídos por toda a superfície. À semelhança da EP1, as características desta corrosão apontam para uma corrosão localizada por picadas, Figura 4.67.

Os pilares de betão armado além de possuírem alteração cromática devido à oxidação e corrosão da estrutura metálica que suportam, apresentam por toda a superfície cavidades e pequenas fissuras, Figura 4.64 a Figura 4.66. Estas cavidades são um símbolo de degradação particular dos processos de cativação que ocorrem devido a fatores físicos como a turbulência da água. As cavidades no betão revelam que a estrutura já sofreu ataques diretos da turbulência da água do mar, estando, possivelmente, muitas vezes sujeita à rebentação das ondas do mar.

Este fato faz com que a estrutura esteja sujeita a duas zonas de exposição, zona atmosférica marítima e zona de rebentação, consoante a posição relativa ao nível médio da água do mar.

A zona de rebentação é a mais violenta para a estrutura, pois para além de provocar o já referido fenómeno de cativação no betão, sujeita esta, a ciclos de molhagem e secagem pela água do mar, o que potencia o aumento de velocidade do mecanismo de corrosão das estruturas metálicas devido às constantes diferenças de temperatura e humidade. No caso de a água do mar transportar materiais sólidos como areias, poderá ocorrer a erosão do betão.



Fig. 4.65 – União 1 dos perfis metálicos ao pilar de betão



Fig. 4.66 - União 2 dos perfis metálicos ao pilar de betão



Fig. 4.67- Corrosão de perfis metálicos

#### 4.5.2.5. Acesso pedonal

A estrutura pedonal estudada é uma escada com 19 degraus. Com exposição a sudeste, está inserida na zona atmosférica marítima. Por norma não possui contacto directo com o mar, mas a grande proximidade deste à estrutura, cerca de 10 m, propicia o contacto nas situações em que a maré se situe exceccionalmente a níveis elevados.

Como foi referido no Capítulo II, o principal mecanismo de deterioração das estruturas de betão armado nesta zona de exposição é a corrosão das armaduras por ação dos cloretos que pode ser acompanhada pela carbonatação do betão. Nesta situação concreta não é desprezável a ação humana corrente neste tipo de estruturas.

Passados apenas 4 anos das últimas obras de requalificação, a estrutura pedonal encontra-se de facto bastante deteriorada, apresentando marcas de erosão, estando o betão bastante degradado, fissurado e fendilhado, Figura 4.68.

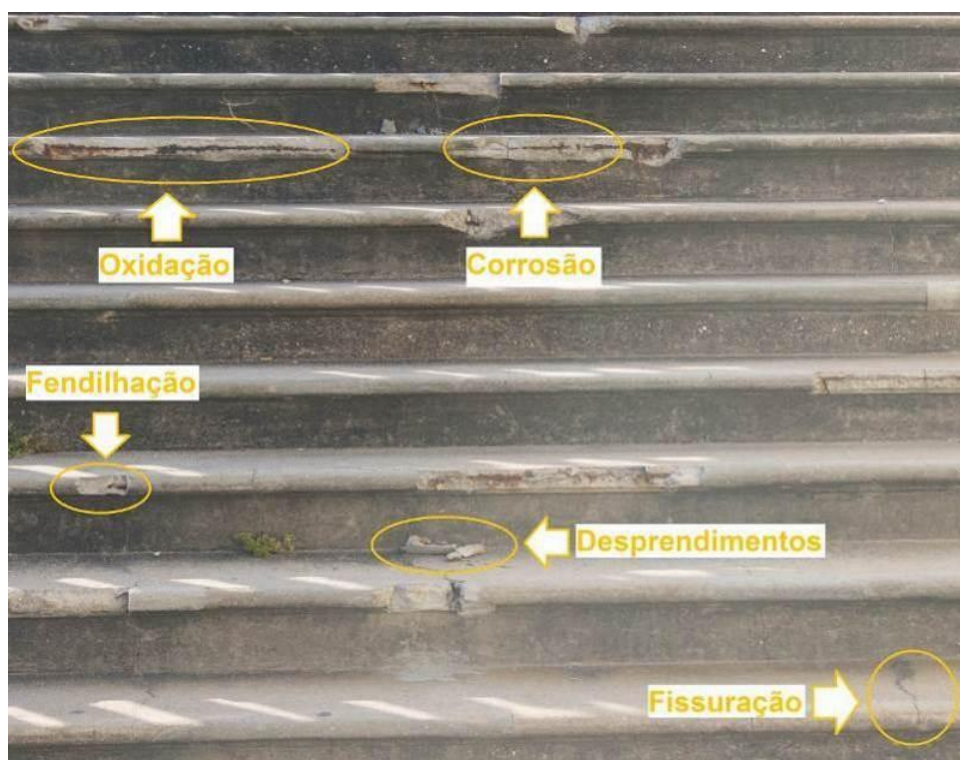


Fig. 4.68- Aspeto geral do estado de deterioração do Acesso Pedonal



Conforme se ilustra nas Figura 4.69 a Figura 4.71, foram identificadas várias zonas da escada com deterioração e destacamento da camada superficial de betão. Nestas figuras pode mesmo verificar-se que em algumas dessas zonas os varões de armadura se encontram à vista.

No local foi ainda possível verificar que, em algumas das zonas com esta patologia, os varões de armadura foram originalmente colocados muito próximos da superfície, pelo que uma das causas relacionadas com o seu aparecimento será a insuficiente espessura de recobrimento.

Estes varões encontram-se assim expostos, sem a camada de betão que os deveria envolver e proteger da corrosão, especialmente por efeito da passivação. É visível nos pedaços de betão destacadado, Figura 4.70, marcas de oxidação das armaduras, o que leva a supor que as armaduras oxidaram ainda em contacto com este. Nesta linha de raciocínio o desprendimento do betão estará associado ao processo de corrosão das armaduras.



Fig. 4.69 – Fissuração do betão



Fig. 4.70 - Destacamento do betão



Fig. 4.71 – Rompimento da armadura

#### 4.6. SÍNTESE DA ANÁLISE REALIZADA

No total foram estudadas 21 estruturas. Este universo engloba estruturas sujeitas às 4 zonas de exposição definidas no Capítulo 2.

O Quadro 4.7 resume e sintetiza as zonas de exposição em que as estruturas estão inseridas, podendo ainda observar-se neste as zonas que foram alvo da análise.

Quadro 4.7 – Zonas de exposição das estruturas

Tipo de Estrutura	Referência	Zona de exposição	Analisado
Edifícios	E1 a E16	▪ Zona atmosférica marítima	■
		▪ Zona de rebentação	■
	M1	▪ Zona entre marés	■
		▪ Zona submersa	
	M2	▪ Zona de rebentação	■
		▪ Zona entre marés	■
Outras estruturas	EP1	▪ Zona atmosférica marítima	■
		▪ Zona de rebentação	■
	EP2	▪ Zona atmosférica marítima	■
		▪ Zona de rebentação	■
	AP	▪ Zona atmosférica marítima	■

A definição da zona de exposição foi definida com base nos mecanismos de degradação a que a estrutura se encontra sujeita.

As habitações (E) e o acesso pedonal (AP) estudados, como em situações normais não possuem qualquer contacto direto com a água do mar, estando no entanto sujeitos a um ambiente hostil provocado pela névoa salina originada pelo vento, foram inseridos na zona atmosférica marítima.

As estruturas localizadas na praia (EP) possuem elementos construtivos de baixa cota que sofrem o desgaste físico do contacto periódico com as ondas do mar, tendo sido, por este motivo, inseridos na zona de rebentação. No entanto, alguns elementos destas estruturas, com uma cota superior e mais protegidos dum contacto direto com a água salgada foram inseridos na zona atmosférica marítima.

Por sua vez, toda a estrutura dos molhes (M), possui contacto direto com a água do mar. Consoante a frequência desse contacto, alguns elementos estão na zona submersa, outros na zona entre marés e os restantes na zona de rebentação.

Como já foi referido anteriormente apenas a zona submersa das estruturas não foi alvo de análise.

No universo de estruturas estudadas foi possível identificar patologias em diversos tipos de materiais. O Quadro 4.8 identifica esses materiais associando-os às correspondentes estruturas.

Quadro 4.8 – Materiais em que foram identificadas patologias

Tipo de Estrutura	Referência	Materiais
Edifícios	E1 a E16	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Argamassas <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Reboco</li> </ul> </li> <li>▪ Betão armado</li> <li>▪ Cerâmicos</li> <li>▪ Madeira</li> <li>▪ Metais <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Alumínio</li> <li>○ Ferro</li> </ul> </li> <li>▪ Pedra <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Mármore</li> <li>○ Granito afagado</li> </ul> </li> </ul>
	M1	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Betão</li> <li>▪ Pedra <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Granito aparente</li> </ul> </li> </ul>
	M2	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Metais <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ferro</li> </ul> </li> <li>▪ Argamassas <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Reboco</li> </ul> </li> </ul>
Outras estruturas	EP1	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Betão armado</li> <li>▪ Madeira</li> <li>▪ Metais</li> </ul>
	EP2	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Betão armado</li> <li>▪ Madeira</li> <li>▪ Metais</li> </ul>
	AP	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Betão armado</li> </ul>



Obviamente que foram utilizados mais materiais na execução destas estruturas, mas os identificados no Quadro 4.8, correspondem aos materiais que foram alvo de análise sendo estes os materiais expostos e visíveis das estruturas.

Para uma melhor definição comparativa do estado de degradação das estruturas com elementos em betão armado foi elaborada, Quadro 4.9, uma análise e avaliação de quatro critérios:

- Alteração cromática;
- Fissuração;
- Delaminação do betão;
- Perda de secção das armaduras.

A alteração cromática não é mais qua a alteração da coloração superficial do betão e pode fornecer indicações sobre as propriedades e mecanismos de degradação que nele se desenvolvem. A principal causa e a mais gravosa deste fenómeno é a corrosão das armaduras devido ao ataque de cloretos e/ou carbonatação, [31].

A fissuração já definida no Capítulo 4.3.1.1. é uma característica superficial do betão e pode ter bastantes causas na sua origem, no entanto, a causa mais associada ao ambiente marítimo está relacionada com o aumento de volume das armaduras que geram tensões no interior do betão e a consequente fissuração.

A delaminação do betão caracteriza-se pela perda localizada do betão de recobrimento, consistindo na libertação dos agregados após a perda progressiva da união conferida pela pasta de cimento. A oxidação das armaduras fruto do ataque de cloretos leva à fissuração e posterior delaminação do betão, [31].

A perda de secção das armaduras verifica-se através da redução generalizada da secção útil da armadura, nomeadamente do diâmetro efetivo. A principal causa deve-se à corrosão das armaduras, variando a gravidade deste fenómeno com o tipo de corrosão manifestada, [31].

Esta análise foi efetuada somente a elementos das estruturas do grupo “Outras estruturas”. Os molhes M1e M2 não fizeram parte desta análise, visto que o corpo superficial de M1 é unicamente em betão sem quaisquer armaduras e o M2 é construído em alvenaria de granito aparente.

Quadro 4.9 – Avaliação das estruturas de betão armado

Referência	Alteração Cromática	Fissuração	Delaminação do betão	Perda de secção das armaduras
EP1	Superior a 80% dos elementos	Aberturas superiores a 5mm	Inferior a 15% dos elementos	Inferior a 10% do diâmetro inicial de algumas armaduras
EP2	Entre 20% e 40% dos elementos	Aberturas inferiores a 2mm	Inferior a 15% dos elementos	Não visível
AP	Superior a 80% da estrutura	Aberturas superiores a 5mm	Entre 15 a 30% da estrutura	Entre 10 a 40% do diâmetro inicial de algumas armaduras

O estudo das estruturas localizadas na zona em estudo, anteriormente efetuado, inclui bastantes considerações relativas à interpretação das patologias e à reflexão sobre algumas das causas que

contribuíram para a sua ocorrência. Os danos elencados são sobretudo relativos à deterioração, fissuração e fendilhação do betão, à corrosão de elementos metálicos, à oxidação de armaduras, à presença de organismos, ao destacamento de cerâmicos, ao apodrecimento da madeira, ao empolamento de tintas e a manchas de humidade.

Conforme referido anteriormente, o meio ambiente em que a zona em estudo se insere é de elevada agressividade, pelo facto de o mesmo se encontrar junto ao mar e também próximo a um rio (rio Douro). Assim sendo, as patologias anteriormente referidas resultarão essencialmente dessa adversidade, aliada a uma manutenção deficiente e eventualmente ainda a outros tipos de fatores relacionados com a execução da obra. Exemplo desses outros fatores que poderão estar também na origem das patologias referenciadas serão a qualidade dos materiais utilizados e a já referida insuficiência da espessura de recobrimento das armaduras nos elementos de betão armado.

# 5

## SÍNTESE, CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

### 5.1. SÍNTESE E CONCLUSÕES DA ANÁLISE EFETUADA

Esta dissertação constitui uma compilação e aplicação de informação sobre os mecanismos de deterioração de estruturas sujeitas à ação do ambiente marítimo, que conduziu a uma aplicação prática traduzida em análise de alguns casos reais.

Depois de concluído este trabalho, a primeira constatação é que são inúmeras as matérias abrangidas e que envolvem várias áreas científicas: engenharia dos materiais, engenharia química, física, biológica e civil. Somente com a conjugação de conhecimentos das diversas áreas é possível conhecer os aspetos relativos à degradação de estruturas em ambiente marítimo.

Após a fase de recolha bibliográfica concluiu-se que ainda existem poucos estudos no nosso país, que façam um desenvolvimento aprofundado sobre as causas dos processos patológicos nas estruturas sujeitas a este ambiente agressivo.

Também foi identificada alguma carência de legislação nacional e europeia que permita quantificar o desempenho da estrutura perante determinado ambiente de exposição. Associado a isto, fica a ideia de um certo desprezo das ações ambientais por parte dos projetistas, valorizando muito mais os aspetos relacionados com a resistência mecânica.

Estes motivos, aliados ao distanciamento existente entre a comunidade científica e os profissionais do setor da construção justificam a ideia que é na fase de conceção, projeto e construção que está a origem de alguns dos processos patológicos detetados nas estruturas posteriormente.

É importante uma adoção de estratégias de prevenção de patologias ao invés de se atuar somente quando os sinais de degradação de estruturas começam a ser evidentes.

Nas inspeções realizadas foram identificados vários tipos de patologias com diversos graus de gravidade, resultantes sobretudo da exposição ao meio ambiente e de algumas deficiências de manutenção.

A análise das diferentes estruturas estudadas, confirmou a grande agressividade do ambiente marítimo e demonstrou que esta agressividade é variável conforme as condições de exposição da estrutura. Por exemplo, a corrosão de elementos metálicos e de armaduras nos elementos de betão armado, apresentaram uma degradação mais gravosa na zona atmosférica marítima, onde o contacto direto com a água do mar é praticamente inexistente.

Desta forma, é de extrema importância a análise cuidada das condições de exposição a que as estruturas estão sujeitas, para que seja possível adotar medidas de proteção apropriadas nas zonas mais vulneráveis.

## **5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

Na presente dissertação pretendeu-se fazer um levantamento e análise de patologias em estruturas construídas em ambiente marítimo.

Será pertinente, em relação ao futuro:

- Fazer um acompanhamento das patologias registadas efetuando também ensaios que se considerem oportunos e que ajudem na identificação das causas das mesmas.
- Aprofundar o estudo dos mecanismos de deterioração de origem biológica, identificando e analisando os organismos e micro-organismos na perspetiva de entender a influência destes na deterioração dos diversos materiais em que são encontrados;
- Monitorizar edifícios e outras estruturas que venham a ser construídas, acompanhando o desenvolvimento das possíveis patologias que se venham a registar, de modo a se perceberem as causas dos processos patológicos. Este processo poderá ser também acompanhado por testes em laboratório que simulem mecanismos de deterioração de determinadas zonas de exposição, acelerando resultados do processo patológico;
- Efetuar uma análise comparativa entre edifícios com soluções construtivas semelhantes localizados em diferentes ambientes.

Sintetizando, deverá ser perspectivada a atualização desta dissertação com novas informações acerca das patologias analisadas e de outras que surjam na zona de estudo, realizando-se experiências reais e laboratoriais que visem compreender melhor todo o processo de deterioração de estruturas em ambiente marítimo.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Costa, A. *PATOLOGIA DO BETÃO ARMADO - Anomalias e Mecanismos de Deterioração*. s/d. [http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1162\\_\\_Patologias%20do%20bet%C3%A3o.pdf](http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1162__Patologias%20do%20bet%C3%A3o.pdf). 10-06-2012.
- [2] Maringá, J. *Um pouco sobre a história do concreto*. 2008. <http://www.ebah.com.br/content/ABAAA4sAE/historia-concreto>. 28-03-2012
- [3] Chatelier, H. *Décomposition des ciments a la mer – Annales des Ponts et Chaussées, Mémoires et documents, n° 15*. Vve C. Dunod, Paris, 1907.
- [4] Gjorv, E. *Long-time durability of concrete in sea water*. ACI Journal, 01/1971, p. 60-67.
- [5] Metha, K., Haynes, H. *Durability of concrete in sea water*. ASCE, Journal of the Structural Division, 08/1975, p. 1679-1686
- [6] Metha, K. *Concrete in the Marine Environment*. Elsevier Science Publishers, New York, 1991.
- [7] Gjorv, E. *Steel corrosion in concrete structures exposed to norwegian marine environment*. ACI Concrete Internacional, 01/04/1994, p. 35-39
- [8] Normand, R. *Review of long-term performance of concrete coastal structures in the Gulf area*. The Concrete Society, 1986, p. 101 - 113.
- [9] Costa, A. *Durabilidade de Estruturas de Betão Armado em Ambiente Marítimo*. Dissertação de Doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico Instituição, 1997.
- [10] Appleton, J., Moura, R., Costa, A., Gonçalves, P. *Reparação da Doca 22 do Estaleiro da Lisnave..* <http://www.civil.ist.utl.pt/~cristina/GDBAPE/Artigos.htm>. 28-03-2012.
- [11] Matos, A. *Reabilitação do terminal de petroleiros em Leixões - 5º Encontro Nacional sobre Estruturas Pré-esforçadas, Betão Estrutural 1994*, p. 467-480, Porto, 1994.
- [12] Moreira, R. *Documentário: Plataforma Gas Troll*. 04-06-2011. <http://www.qgdopetroleo.com/2011/06/documentario-plataforma-gas-troll.html>. 29-03-2012
- [13] [http://www.elpais.com/recorte/20070930elpnegser\\_2/XLCO/Ies/20070930elpnegser\\_2.jpg](http://www.elpais.com/recorte/20070930elpnegser_2/XLCO/Ies/20070930elpnegser_2.jpg). 29-03-2012.
- [14] DURACRETE. *Models for environmental actions on concrete structures*. The European Union – Brite EuRam III, 1999.
- [15] Beeby, W. Concrete in a marine environment. In *Durable Concrete Structures*, CEB Design Guide. Comité Euro-Internacional du Béton, Bulletin d'Information n°182, 1989.
- [16] Ré, P. *Biologia Marinha*. 1a.ed, Lisboa, 2001.
- [17] Duval, R., Hornain, H. Autor, B. La durabilité des bétons vis-à-vis des eaux agressives. In *La durabilite des betons*, p.351-391, Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1992.

- [18] RILEM, Technical Committee 32-RCA. *Sea Water Attack on Concrete and Precautionary Measures*. Materials and Structures, 1985, p.223-226, Springer Netherlands
- [19] Metha, K. *Durability of Concrete in Marine Environment--A Review*. American Concrete Institute- Performance of Concrete in Marine Environment, 01/08/1980, p.1-20
- [20] GESTÃO COSTEIRA INTEGRADA. *Glossário das Zonas Costeiras*. 2007. <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/ondasmarinhas.html>. 01-02-2012.
- [21] Thurman, H. V. e Trujillo, A. P. **Introductory Oceanography**, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1997
- [22] McCormick, M., Thiruvathukal, J. *Elements of Oceanography*. Saunders College Publishing, 1981.
- [23] INSTITUTO HIDROGRÁFICO. *Glossário Científico*. 2012. <http://www.hidrografico.pt/ciencia-marinha-pagina-inicial.php>. 21-04-2012.
- [24] Bogren, J., Gustavsson, T., Loman, G. *Klimatologi Meteorologi*. Studentlitteratur AB, Gotemburgo, 1995.
- [25] Lima, M., Mazer, W., Brito, P., Morelli, F., Lencioni, J. *Durabilidade de estruturas de concreto em ambiente marinho – importância dos estudos envolvendo microclima*. 2006. <http://www.semengo.furg.br/2006/20.pdf>. 01-04-2012.
- [26] Medeiros, M., Gobbi, A., Réus, G., Helene, P. *Influência da altura e posição da edificação na penetração de cloretos: Estudo de caso em obra no Rio de Janeiro - Brasil*. Cinpar 2010 VI Congresso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras, 2,3 e 4 Junho 2010, Córdoba, Argentina, p.13.
- [27] Liu, P. *Damage to concrete structures in a marine environment*. Materials and Structures, 01/07/1991, p.6, RILEM Publications SARL
- [28] Silva, F. Liborio, J. *Durabilidade do concreto de alto desempenho com sílica de Fe-Si ou silício metálico em ambientes marinhos*. Revista de Ciências Exatas e Engenharias, 17/12/2007, pp 35-47, VETOR, Rio Grande
- [29] Val, D., Stewart, M. *Life-cycle cost analysis of reinforced concrete structures in marine environments*. Structural Safety, 04/10/2003, pp. 343-362
- [30] Sohahngpurwala, A., Scannell, W. *Repairs and Protection of Concrete Exposed to Seawater*. Concrete corrosion specialists, 08/1994, CONCORR, Oakbrook.
- [31] Rodrigues, F. *Modelos de gestão da degradação de infraestruturas portuárias*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2011.
- [32] Andrade, O. *Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: iniciação por cloretos*. Dissertação de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

- [33] Sandberg, P. *Chloride initiated reinforcement corrosion in marine concrete*. Lund Institute of Technology, Division of Building Materials, Lund, 1998.
- [34] Ferreira, R. *Avaliação dos Ensaios de Durabilidade do Betão*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, 2000
- [35] Wall, H. *Chloride profiling in marine concrete - Methods and tools for sampling*. Dissertação de Licenciatura, Lund Institute of Technology, 2007.
- [36] Araújo, E. *PATOLOGIAS EM CONCRETO ARMADO*. 18-01-2011. <http://mundodaimpermeabilizacao.blogspot.pt/2011/01/patologias-em-concreto-armado.html>. 13-05-2012.
- [37] Andrade, C., Alonso, C. *Vida útil e vida residual das estruturas de hormigón*. Prevenção de Corrosão em Estruturas de Betão Armado, Seminário LNEC, Outubro 1996
- [38] CEB. *Durable concrete structures*". Thomas Telford, Londres, 1992.
- [39] Padrão, J. *Técnicas de Inspeção e Diagnóstico em Estruturas*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.
- [40] Tratado de Rehabilitación. *Tomo 3 - Patologia y Técnicas de Intervención. Elementos Estructurales*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 1998.
- [41] Coutinho, M. (1998). *Melhoria da durabilidade dos betões por tratamento da cofragem*. Dissertação de Mestrado, FEUP.
- [42] Salta, M. *Introdução à corrosão do aço no betão. Modelos de comportamento às acções agressivas*. Prevenção da Corrosão em estruturas de betão armado. LNEC, 1996, Lisboa, pág. 13, Lisboa.
- [43] Masy, M. *Proteccion y reparacion de estruturas de hormigon. Edificios, obras hidráulicas e vales*. Ed. Omega, Barcelona, 1996.
- [44] Durar. Corrosion/Impacto Ambiental sobre Materiales. In *Manual de Inspeccion, Evaluacion y diagnóstico de corrosion en estruturas de hormigon armado*, CYTED, Rio de Janeiro, 1997.
- [45] Mendes, P. *Ligações em Estruturas de Madeira Tecnologia e Dimensionamento de acordo com o Eurocódigo 5*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1994.
- [46] <http://www.engenhariacivil.com/ligacoes-estruturas-madeira>. 16-04-2012.
- [47] Coutinho, J. *Madeiras*. 1999. <http://paginas.fe.up.pt/~jcouti/Madeiras%2099.pdf>. 16-04-1012.
- [48] NP EN 335-1 2001 Durabilidade da madeira e de produtos derivados da madeira. Definição das classes de risco. Parte 1: Generalidades
- [49] Pala, H. *Constituição e mecanismos de degradação biológica de um material orgânico: a madeira*. Construção Magazine, 2007, p. 54-62, Publindústria

- [50] European Convention for Constructuional Steelwork
- [51] Cruz, P., J.S and Alvaréz, R. *Patologias de estruturas metálica*. REPAR 2000 – Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas, 14-17 Junho 2000, Lisboa, pp. 227-236, LNEC, Lisboa.
- [52] Gentil, V. *Corrosão*. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1996.
- [53] <ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM192/CAPITULO%203.ppt>. 09-05-2012
- [54] <http://www.cca.ufscar.br/~vico/2%20monitoramento/9%20CORROSAO.pdf> 09-05-2012
- [55] [http://www.iope.com.br/3i\\_corrosao\\_3.htm](http://www.iope.com.br/3i_corrosao_3.htm). 10-05-2012
- [56] Jones, D. *Principles and Prevention of Corrosion*. Prentice Hall, New Jersey, 1996.
- [57] <http://www.poeton.co.uk/w1/p-solver/corrosion.htm>. 10-05-2012
- [58] Hudson, J. *Corrosion of iron and steel*. Chapman and Hall, London, 1940
- [59] <http://earth.google.com/intl/pt/>. 13-04-2012
- [60] [http://www.icsa.pt/client/skins/a\\_negocio.asp?page=28](http://www.icsa.pt/client/skins/a_negocio.asp?page=28). 14-04-2012
- [61] <http://portosdeportugal.pt/admin/artigos/uploads/molhe-norte-bdouro-g.jpg>. 04-04-2012
- [62] Botelho, M. *As Patologias do Portal da Sé do Porto. Levantamento Macroscópico*. Boletim interactivo da APHA, 11/2004, p.3-4, APHA.
- [63] APDL. Processo de concurso volume 3. In *Projecto Base - Concurso Público no Âmbito da Empreitada de Construção das Obras necessárias à melhoria da acessibilidade e das condições de segurança da Barra do Douro*
- [64] [http://www.meteo.pt/pt/oclima/normais/index.html?page=normais\\_pto.xml](http://www.meteo.pt/pt/oclima/normais/index.html?page=normais_pto.xml). 04-04-2012
- [65] MARINHA. *Tabela de marés 2011*. INSTITUTO HIDROGRÁFICO, Lisboa, 2009.
- [66] INSTITUTO PORTUÁRIO E DOS TRANSPORTES MARÍTIMOS. *Estudo de impacte ambiental das obras de melhoria de acessibilidade e segurança da barra do douro*, 2003
- [67] Ramos, F., Prata, C. *Molhes do Douro*. Sebentas dÓbra - Ciclo de construção, do projecto à obra, 06/2011, p.24, GEQUALTEC, Porto.
- [68] [http://www.monumentos.pt/Site/APP\\_PagesUser/SIPA.aspx?id=5514](http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=5514), 04-05-2012
- [69] [http://pt.wikipedia.org/wiki/P%C3%A9rgola\\_da\\_Foz](http://pt.wikipedia.org/wiki/P%C3%A9rgola_da_Foz), 05-05-2012







# A

## ANEXOS



## INFORMAÇÃO GERAL



- Localização do Edifício	Rua da Praia, nº 5
- Ano de Construção	S/info
- Nº de Pisos	3
- Caracterização Funcional	Habitação
- Revestimento(s) da Fachada	Reboco
- Caracterização da Cobertura	Quatro águas com platibanda
- Intervenções Anteriores	S/info
- Orientação do Edifício	Sudoeste
- Observações	Não aparenta ter sofrido manutenções recentemente

## CARACTERIZAÇÃO

- Identificação do Local	Fachada frontal							
- Elemento(s)	Platibanda, janela e caixilharia							
- Materiais	Madeira, pedra, reboco							
- Tipo(s) de Anomalia(s) ou Patologia(s) associada(s)								
	Humidade	<u>x</u>	Erosão	<u>x</u>	Deformação	—	Fendas	<u>x</u>
	Fissuras	<u>x</u>	Corrosão	<u>x</u>	Desprendimentos	—	Oxidação	<u>x</u>
	Eflorescências	—	Organismos	<u>x</u>	Sujidade	<u>x</u>		

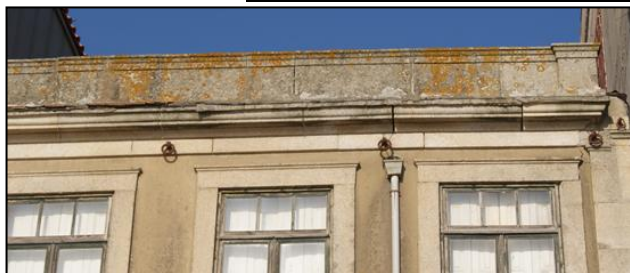
## - Descrição da Anomalia e Observações

Toda a fachada do edifício, inclusive a platibanda, janelas de pedra e caixilharias de madeira encontram-se degradadas, fissuradas e com manchas de bolor

## - Elementos metálicos

Sim	Não
<u>x</u>	

Argolas



Data: 13/03/2012



## INFORMAÇÃO GERAL



- Localização do Edifício	Rua da Praia, nº 57
- Ano de Construção	S/info
- Nº de Pisos	4
- Caracterização Funcional	Habitação
- Revestimento(s) da Fachada	Reboco
- Caracterização da Cobertura	Quatro águas
- Intervenções Anteriores	S/info
- Orientação do Edifício	Sudoeste
- Observações	Não aparenta ter sofrido manutenções recentemente

## CARACTERIZAÇÃO

- Identificação do Local	Fachada frontal																															
- Elemento(s)	Varanda e caixilharia																															
- Materiais	Madeira, reboco																															
- Tipo(s) de Anomalia(s) ou Patologia(s) associada(s)	<table><tr><td>Humidade</td><td>—</td><td>Erosão</td><td>—</td><td>Deformação</td><td>—</td><td>Fendas</td><td>—</td></tr><tr><td>Fissuras</td><td><u>x</u></td><td>Corrosão</td><td><u>x</u></td><td>Desprendimentos</td><td>—</td><td>Oxidação</td><td><u>x</u></td></tr><tr><td>Eflorescências</td><td>—</td><td>Organismos</td><td>—</td><td>Sujidade</td><td>—</td><td></td><td></td></tr></table>								Humidade	—	Erosão	—	Deformação	—	Fendas	—	Fissuras	<u>x</u>	Corrosão	<u>x</u>	Desprendimentos	—	Oxidação	<u>x</u>	Eflorescências	—	Organismos	—	Sujidade	—		
Humidade	—	Erosão	—	Deformação	—	Fendas	—																									
Fissuras	<u>x</u>	Corrosão	<u>x</u>	Desprendimentos	—	Oxidação	<u>x</u>																									
Eflorescências	—	Organismos	—	Sujidade	—																											
- Descrição da Anomalia e Observações	<u>É visível a fissuração do betão e a oxidação das armaduras da varanda assim como a degradação das caixilharias de madeira.</u>																															

- Elementos metálicos

Sim	Não
X	

Caixilharia e acessórios



Data: 13/03/2012





## INFORMAÇÃO GERAL



- Localização do Edifício Rua de Cadouços, nº3
- Ano de Construção 1975
- Nº de Pisos 6
- Caracterização Funcional Habitação
- Revestimento(s) da Fachada Mosaico cerâmico
- Caracterização da Cobertura Plana
- Intervenções Anteriores 1983
- Orientação do Edifício Sudoeste
- Observações \_\_\_\_\_

## CARACTERIZAÇÃO

- Identificação do Local Fachada lateral
- Elemento(s) Fachada, lajes em consola
- Materiais Cerâmico
- Tipo(s) de Anomalia(s) ou Patologia(s) associada(s)
 

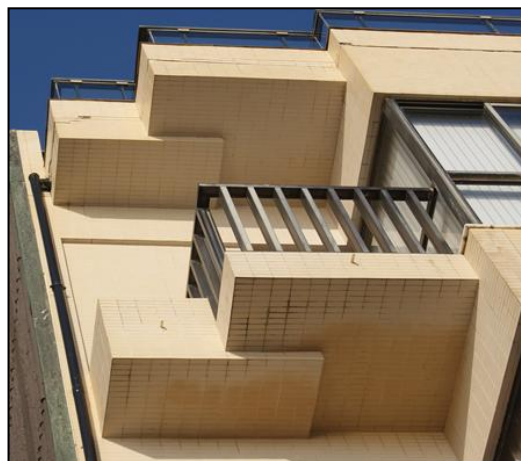
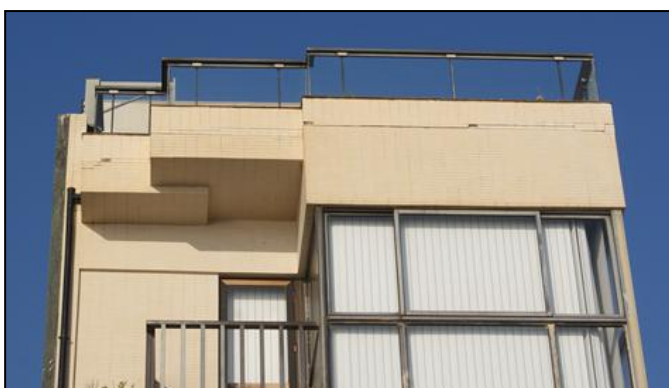
Humidade	<u>x</u>	Erosão	<u>_</u>	Deformação	<u>x</u>	Fendas	<u>_</u>
Fissuras	<u>_</u>	Corrosão	<u>_</u>	Desprendimentos	<u>x</u>	Oxidação	<u>_</u>
Eflorescências	<u>_</u>	Organismos	<u>_</u>	Sujidade	<u>_</u>		
- Descrição da Anomalia e Observações
 

A fachada numa zona superior próxima da cobertura encontra-se com uma linha de destacamento de cerâmicos e as lajes em consola apresentam manchas de humidade
---

- Elementos metálicos

Sim	Não
X	

Caixilharias e guardas das varandas





## INFORMAÇÃO GERAL



- Localização do Edifício	Rua da Senhora da Luz, nº431
- Ano de Construção	S/info
- Nº de Pisos	2
- Caracterização Funcional	Habitação
- Revestimento(s) da Fachada	Reboco
- Caracterização da Cobertura	Quatro águas
- Intervenções Anteriores	S/info
- Orientação do Edifício	Sudoeste
- Observações	Não aparenta ter sofrido manutenções recentemente

## CARACTERIZAÇÃO

- Identificação do Local	Fachada das traseiras							
- Elemento(s)	Muro							
- Materiais	Metal, reboco							
- Tipo(s) de Anomalia(s) ou Patologia(s) associada(s)								
	Humidade	<u>x</u>	Erosão	<u>x</u>	Deformação	—	Fendas	<u>x</u>
	Fissuras	<u>x</u>	Corrosão	<u>x</u>	Desprendimentos	<u>x</u>	Oxidação	<u>x</u>
	Eflorescências	—	Organismos	<u>x</u>	Sujidade	<u>x</u>		
- Descrição da Anomalia e Observações								
	O muro das traseiras da habitação encontra-se fortemente degradado, sendo visíveis escorrências e fissuração no reboco fruto da oxidação e rotura do gradeamento.							

- Elementos metálicos

Sim	Não
X	

Guardas



Data: 13/03/2012



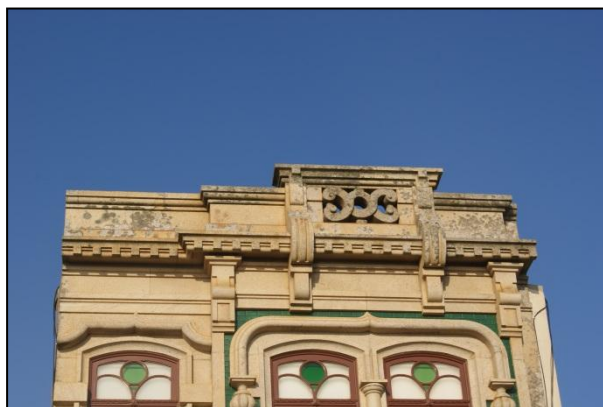
## INFORMAÇÃO GERAL



- Localização do Edifício	Rua da Senhora da Luz, nº72
- Ano de Construção	S/info
- Nº de Pisos	3
- Caracterização Funcional	Habitação
- Revestimento(s) da Fachada	Pedra e cerâmico
- Caracterização da Cobertura	Quatro águas com platibanda
- Intervenções Anteriores	S/info
- Orientação do Edifício	Sudoeste
- Observações	Aparenta ter sofrido manutenções recentemente

## CARACTERIZAÇÃO

- Identificação do Local	Fachada frontal											
- Elemento(s)	Fachada e platibanda											
- Materiais	Metal, pedra, reboco											
- Tipo(s) de Anomalia(s) ou Patologia(s) associada(s)												
	Humidade	<u>x</u>	Erosão	<u>x</u>	Deformação	—	Fendas	—				
	Fissuras	—	Corrosão	—	Desprendimentos	—	Oxidação	—				
	Eflorescências	—	Organismos	<u>x</u>	Sujidade	<u>x</u>						
- Descrição da Anomalia e Observações												
	A platibanda e a fachada encontram-se manchadas											
- Elementos metálicos	<table border="1"><tr><td>Sim</td><td>Não</td></tr><tr><td>X</td><td></td></tr></table>		Sim	Não	X		Guardas e caixilharias					
Sim	Não											
X												





## INFORMAÇÃO GERAL



- Localização do Edifício	Rua da Senhora da Luz, nº15
- Ano de Construção	1992
- Nº de Pisos	7
- Caracterização Funcional	Habitação + Comércio
- Revestimento(s) da Fachada	Cerâmico
- Caracterização da Cobertura	Duas águas
- Intervenções Anteriores	2009
- Orientação do Edifício	Sudoeste
- Observações	

## CARACTERIZAÇÃO

- Identificação do Local	Fachada frontal							
- Elemento(s)	Platibanda, janela e caixilharia							
- Materiais	Cerâmico, mármore, metal e madeira							
- Tipo(s) de Anomalia(s) ou Patologia(s) associada(s)								
	Humidade	—	Erosão	<u>x</u>	Deformação	—	Fendas	—
	Fissuras	<u>x</u>	Corrosão	—	Desprendimentos	<u>x</u>	Oxidação	<u>x</u>
	Eflorescências	—	Organismos	—	Sujidade	<u>x</u>		
- Descrição da Anomalia e Observações								
	Destacamento de mosaicos na fachada, manchas de oxidação nas varandas e no revestimento de mármore do rés-do-chão							

- Elementos metálicos

Sim	Não
X	

Caixilharias, guardas das varandas e parafusos



Data: 13/03/2012





## INFORMAÇÃO GERAL



- Localização do Edifício	Avenida do Brasil, nº179 a 191
- Ano de Construção	1971
- Nº de Pisos	6
- Caracterização Funcional	Habitação + Comércio
- Revestimento(s) da Fachada	Mármore e Reboco
- Caracterização da Cobertura	Duas águas
- Intervenções Anteriores	S/info
- Orientação do Edifício	Sudoeste
- Observações	Não aparenta ter sofrido manutenções recentemente

## CARACTERIZAÇÃO

- Identificação do Local	Fachada frontal							
- Elemento(s)	Pala, varanda e fachada							
- Materiais	Mármore, madeira e reboco							
- Tipo(s) de Anomalia(s) ou Patologia(s) associada(s)								
	Humidade	<u>x</u>	Erosão	<u>x</u>	Deformação	—	Fendas	—
	Fissuras	<u>x</u>	Corrosão	—	Desprendimentos	<u>x</u>	Oxidação	<u>x</u>
	Eflorescências	—	Organismos	—	Sujidade	x		

## - Descrição da Anomalia e Observações

As varandas apresentam manchas da oxidação das guardas metálicas.  
A pala horizontal do edifício apresenta-se bastante fissurada e com o destacamento das ripas de madeira

## - Elementos metálicos

Sim	Não
X	

Guardas das varandas, caixilharias e parafusos



Data: 13/03/2012



## INFORMAÇÃO GERAL



- Localização do Edifício	Avenida do Brasil, nº223
- Ano de Construção	1966
- Nº de Pisos	5
- Caracterização Funcional	Habitação + Comércio
- Revestimento(s) da Fachada	Ladrilho cerâmico
- Caracterização da Cobertura	Duas águas
- Intervenções Anteriores	S/info
- Orientação do Edifício	Sudoeste
- Observações	Não aparenta ter sofrido manutenções recentemente

## CARACTERIZAÇÃO

- Identificação do Local	Fachada frontal											
- Elemento(s)	Varanda e respetiva laje											
- Materiais	Cerâmico e reboco											
- Tipo(s) de Anomalia(s) ou Patologia(s) associada(s)	Humidade	<u>x</u>	Erosão	_	Deformação	_	Fendas	_				
	Fissuras	_	Corrosão	_	Desprendimentos	<u>x</u>	Oxidação	_				
	Eflorescências	_	Organismos	_	Sujidade	_						
- Descrição da Anomalia e Observações	A laje da varanda apresenta sinais de humidade e a varanda destacamento de ladrilhos cerâmicos.											
- Elementos metálicos	<table><tr><td>Sim</td><td>Não</td></tr><tr><td>X</td><td></td></tr></table>	Sim	Não	X		Caixilharias, guardas e sistema de águas pluviais						
Sim	Não											
X												



Data: 13/03/2012



## INFORMAÇÃO GERAL



- Localização do Edifício	Avenida do Brasil, nº256
- Ano de Construção	1963
- Nº de Pisos	2
- Caracterização Funcional	Habitação
- Revestimento(s) da Fachada	Mosaico cerâmico
- Caracterização da Cobertura	Quatro águas com platibanda
- Intervenções Anteriores	S/info
- Orientação do Edifício	Sudoeste
- Observações	Não aparenta ter sofrido manutenções recentemente

## CARACTERIZAÇÃO

- Identificação do Local	Fachada frontal							
- Elemento(s)	Platibanda, janela e varanda							
- Materiais	Pedra, cerâmico							
- Tipo(s) de Anomalia(s) ou Patologia(s) associada(s)								
	Humidade	<u>x</u>	Erosão	<u>x</u>	Deformação	_	Fendas	_
	Fissuras	<u>x</u>	Corrosão	<u>x</u>	Desprendimentos	_	Oxidação	<u>x</u>
	Eflorescências	_	Organismos	<u>x</u>	Sujidade	_		
- Descrição da Anomalia e Observações								
	A platibanda e varanda da habitação encontram-se com manchas de							
	humidade e de oxidação, as janelas apresentam grandes fissuras							





## INFORMAÇÃO GERAL



- Localização do Edifício	Avenida do Brasil, nº312
- Ano de Construção	1967
- Nº de Pisos	6
- Caracterização Funcional	Habitação + Comércio
- Revestimento(s) da Fachada	Reboco
- Caracterização da Cobertura	Duas águas
- Intervenções Anteriores	2005
- Orientação do Edifício	Sudoeste
- Observações	

## CARACTERIZAÇÃO

- Identificação do Local	Fachada frontal																													
- Elemento(s)	Fachada																													
- Materiais	Madeira, reboco																													
- Tipo(s) de Anomalia(s) ou Patologia(s) associada(s)	<table><tr><td>Humidade</td><td><u>x</u></td><td>Erosão</td><td><u>x</u></td><td>Deformação</td><td>_</td><td>Fendas</td><td>_</td></tr><tr><td>Fissuras</td><td><u>x</u></td><td>Corrosão</td><td>_</td><td>Desprendimentos</td><td>_</td><td>Oxidação</td><td><u>x</u></td></tr><tr><td>Eflorescências</td><td><u>x</u></td><td>Organismos</td><td>_</td><td>Sujidade</td><td>_</td><td></td><td></td></tr></table>						Humidade	<u>x</u>	Erosão	<u>x</u>	Deformação	_	Fendas	_	Fissuras	<u>x</u>	Corrosão	_	Desprendimentos	_	Oxidação	<u>x</u>	Eflorescências	<u>x</u>	Organismos	_	Sujidade	_		
Humidade	<u>x</u>	Erosão	<u>x</u>	Deformação	_	Fendas	_																							
Fissuras	<u>x</u>	Corrosão	_	Desprendimentos	_	Oxidação	<u>x</u>																							
Eflorescências	<u>x</u>	Organismos	_	Sujidade	_																									
- Descrição da Anomalia e Observações	<u>A fachada, principalmente as varandas do edifício entram-se manchadas e fissuradas e as guardas de madeira encontram-se apodrecidas</u>																													
- Elementos metálicos	<table><tr><td>Sim</td><td>Não</td></tr><tr><td>X</td><td></td></tr></table>	Sim	Não	X		Caixilharias e acessórios das guardas das varandas																								
Sim	Não																													
X																														







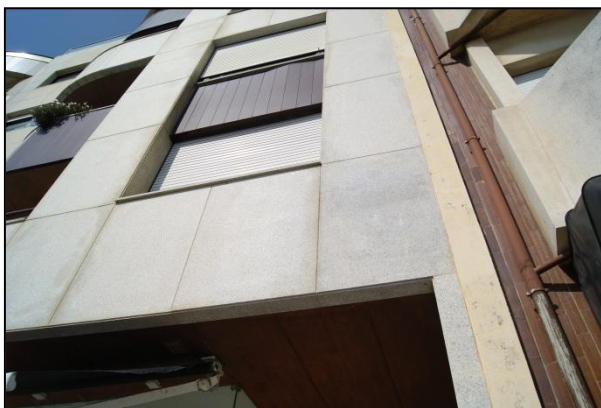
## INFORMAÇÃO GERAL



- Localização do Edifício	Avenida do Brasil, nº375
- Ano de Construção	S/info
- Nº de Pisos	6
- Caracterização Funcional	Habitação + Comércio
- Revestimento(s) da Fachada	Pedra e painéis metálicos
- Caracterização da Cobertura	Duas águas
- Intervenções Anteriores	S/info
- Orientação do Edifício	Sudoeste
- Observações	Não aparenta ter sofrido manutenções recentemente

## CARACTERIZAÇÃO

- Identificação do Local	Fachada frontal							
- Elemento(s)	Fachada e laje das varandas							
- Materiais	Pedra, Madeira							
- Tipo(s) de Anomalia(s) ou Patologia(s) associada(s)	Humidade	<u>x</u>	Erosão	—	Deformação	—	Fendas	—
	Fissuras	—	Corrosão	—	Desprendimentos	—	Oxidação	<u>x</u>
	Eflorescências	—	Organismos	—	Sujidade	—		
- Descrição da Anomalia e Observações	Fachada e acabamentos de madeira com manchas de humidade							
- Elementos metálicos	Sim	Não	Caixilharias, paines de revestimento e gurasas					
	X							



Data: 13/03/2012



## INFORMAÇÃO GERAL



- Localização do Edifício	Avenida do Brasil, nº412
- Ano de Construção	1961
- Nº de Pisos	8
- Caracterização Funcional	Habitação + Comércio
- Revestimento(s) da Fachada	Reboco e mármore
- Caracterização da Cobertura	Cinco águas
- Intervenções Anteriores	S/info
- Orientação do Edifício	Sudoeste
- Observações	Não aparenta ter sofrido manutenções recentemente

## CARACTERIZAÇÃO

- Identificação do Local	Fachada frontal							
- Elemento(s)	Fachada							
- Materiais	Mármore; reboco e metal							
- Tipo(s) de Anomalia(s) ou Patologia(s) associada(s)								
	Humidade	<u>x</u>	Erosão	—	Deformação	—	Fendas	—
	Fissuras	<u>x</u>	Corrosão	<u>x</u>	Desprendimentos	—	Oxidação	<u>x</u>
	Eflorescências	—	Organismos	—	Sujidade	<u>x</u>		

## - Descrição da Anomalia e Observações

Verifica-se empolamento da tinta da fachada que também se encontra manchada da oxidação das guardas metálicas das varandas. O mármore apresenta fissuras e é também visível manchas de humidade nas varandas

## - Elementos metálicos

Sim	Não
X	

Caixilharias e guardas das varandas





## INFORMAÇÃO GERAL



- Localização do Edifício	Avenida do Brasil, nº 604
- Ano de Construção	1993
- Nº de Pisos	6
- Caracterização Funcional	Habitação + Comércio
- Revestimento(s) da Fachada	Reboco e betão
- Caracterização da Cobertura	Três águas
- Intervenções Anteriores	S/info
- Orientação do Edifício	Sudoeste
- Observações	Não aparenta ter sofrido manutenções recentemente

## CARACTERIZAÇÃO

- Identificação do Local	Fachada lateral							
- Elemento(s)	Varandas							
- Materiais	Betão							
- Tipo(s) de Anomalia(s) ou Patologia(s) associada(s)								
	Humidade	<u>x</u>	Erosão	—	Deformação	—	Fendas	—
	Fissuras	<u>x</u>	Corrosão	—	Desprendimentos	—	Oxidação	<u>x</u>
	Eflorescências	—	Organismos	—	Sujidade	—		

## - Descrição da Anomalia e Observações

Fissuração do betão e a oxidação das armaduras nas zonas em consola

## - Elementos metálicos

Sim	Não
X	

Caixilharias e guardas das varandas



Data: 13/03/2012



## INFORMAÇÃO GERAL



- Localização do Edifício	Avenida do Brasil, nº 629
- Ano de Construção	1968
- Nº de Pisos	6
- Caracterização Funcional	Habitação + Comércio
- Revestimento(s) da Fachada	Mosaico cerâmico e pedra
- Caracterização da Cobertura	Duas águas
- Intervenções Anteriores	1974; 1994
- Orientação do Edifício	Sudoeste
- Observações	Não aparenta ter sofrido manutenções recentemente

## CARACTERIZAÇÃO

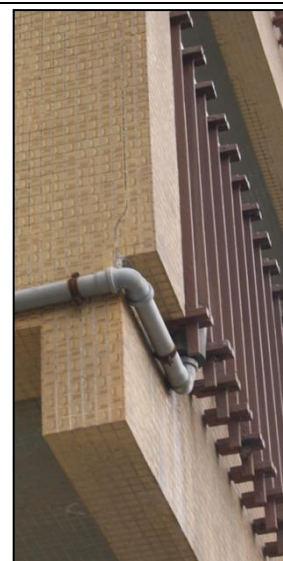
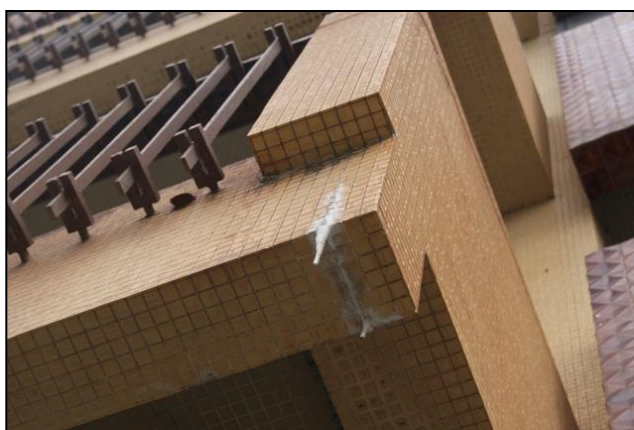
- Identificação do Local	Fachada frontal							
- Elemento(s)	Fachada							
- Materiais	Cerâmico, pedra							
- Tipo(s) de Anomalia(s) ou Patologia(s) associada(s)								
	Humidade	<u>x</u>	Erosão	—	Deformação	—	Fendas	—
	Fissuras	<u>x</u>	Corrosão	<u>x</u>	Desprendimentos	<u>x</u>	Oxidação	<u>x</u>
	Eflorescências	<u>x</u>	Organismos	—	Sujidade	<u>x</u>		

## - Descrição da Anomalia e Observações

Toda a fachada e especialmente os elementos em consola encontram-se fissurados e com manchas de oxidação das guardas das varandas

## - Elementos metálicos

Sim	Não	
X		Guardas e caixilharias



Data: 13/03/2012





## INFORMAÇÃO GERAL



- Localização do Edifício	Avenida do Brasil, nº 747
- Ano de Construção	1963
- Nº de Pisos	5
- Caracterização Funcional	Habitação
- Revestimento(s) da Fachada	Reboco
- Caracterização da Cobertura	Duas águas
- Intervenções Anteriores	S/info
- Orientação do Edifício	Sudoeste
- Observações	Não aparenta ter sofrido manutenções recentemente

## CARACTERIZAÇÃO

- Identificação do Local	Fachada frontal							
- Elemento(s)	Fachada							
- Materiais	Cerâmico, reboco							
- Tipo(s) de Anomalia(s) ou Patologia(s) associada(s)								
	Humidade	<u>x</u>	Erosão	<u>x</u>	Deformação	—	Fendas	<u>x</u>
	Fissuras	<u>x</u>	Corrosão	<u>x</u>	Desprendimentos	<u>x</u>	Oxidação	<u>x</u>
	Eflorescências	—	Organismos	—	Sujidade	—		

## - Descrição da Anomalia e Observações

Toda a fachada encontra-se degradada, com destacamento de mosaicos, oxidação de armaduras e rompimento do betão

## - Elementos metálicos

Sim	Não	
X		Caixilharias e guardas



Data: 13/03/2012



## INFORMAÇÃO GERAL



- Localização do Edifício	Avenida do Brasil, nº 768
- Ano de Construção	1963
- Nº de Pisos	6
- Caracterização Funcional	Habitação + Comércio
- Revestimento(s) da Fachada	Mosaico cerâmico
- Caracterização da Cobertura	Quatro águas
- Intervenções Anteriores	2006
- Orientação do Edifício	Sudoeste
- Observações	

## CARACTERIZAÇÃO

- Identificação do Local	Fachada frontal							
- Elemento(s)	fachada							
- Materiais	Cerâmicos, madeira, reboco, mármore, alumínio							
- Tipo(s) de Anomalia(s) ou Patologia(s) associada(s)								
	Humidade	<u>x</u>	Erosão	—	Deformação	—	Fendas	—
	Fissuras	<u>x</u>	Corrosão	<u>x</u>	Desprendimentos	—	Oxidação	<u>x</u>
	Eflorescências	<u>x</u>	Organismos	—	Sujidade	—		

## - Descrição da Anomalia e Observações

Degradação e fissuração de toda a fachada com descasque da tinta da laje das varandas e oxidação das guardas destas. Manchas de humidade nos tectos das varandas revestidos de madeira

## - Elementos metálicos

Sim	Não	
X		Caixilharias e guardas



Data: 13/03/2012